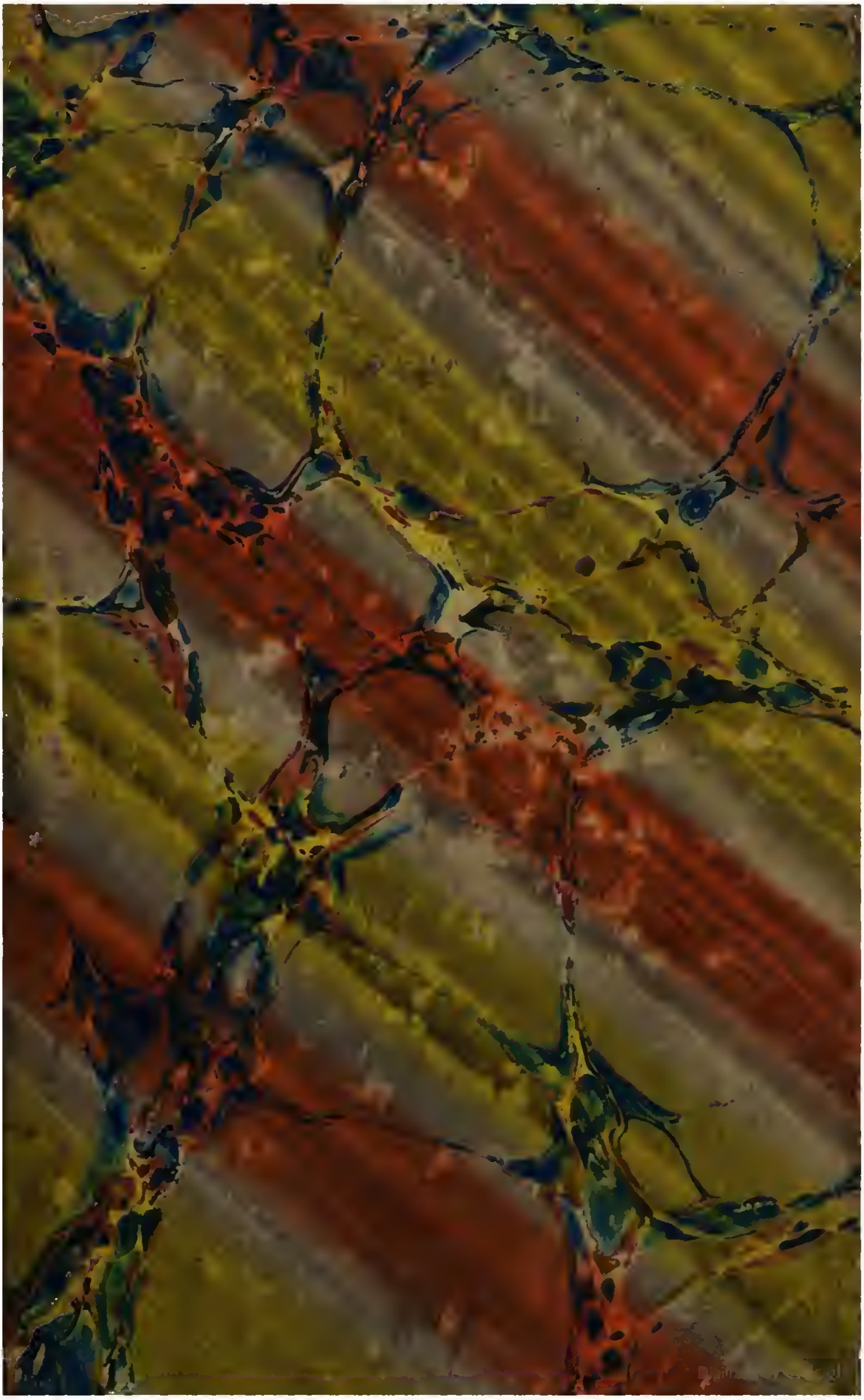


FONDO PIZZOFALCONE

156 28

BIBLIOTECA PROVINCIALE

Armadio XVII

Palchetto 6

Num.° d' ordine 25

15-6-11

15-6-11

NAZIONALE
B. Prov.
I
1851
NAPOLI
R. BIBLIOTECA
VITT. EM. III

B. Prov.
I
1851

# TRAITÉ

DE

# MATHÉMATIQUES

DE MONSIEUR

# BENJAMIN ROBINS.

# TRAITÉ

DE

# MATHÉMATIQUES

DE MONSIEUR

## BENJAMIN ROBINS.

C08.048

# TRAITÉ
## DE
# MATHÉMATIQUES
## DE MONSIEUR
## BENJAMIN ROBINS,

*Membre de la Société royale de Londres, & Ingénieur Général de la Compagnie des Indes Orientales;*

CONTENANT:

SES NOUVEAUX PRINCIPES D'ARTILLERIE, suivis de plusieurs Discours qui leur servent de supplément, & que M. WILSON son Editeur a inséré dans cet Ouvrage.

TRADUIT DE L'ANGLOIS

*Par M.* DUPUY *fils, Aide-Professeur aux Ecoles Royales d'Artillerie de Grenoble.*

---

*Patere honoris scirent ut cunctis viam*
*Nec generi tribui, sed virtuti gloriam.* PHÆD.

---

*A GRENOBLE,*
Chez JOSEPH-SULPICE GRABIT, Libraire, rue du Palais.

M. DCC. LXXI.
*Avec Approbation & Privilege du Roi.*

BIBLIOTECA NAZIONALE DI NAPOLI

# AU CORPS ROYAL D'ARTILLERIE DE FRANCE.

MESSIEURS,

*Je n'emprunterai point le ſtyle ordinaire des Epîtres dédicatoires.*

*pour publier les éloges d'un Corps auſſi reſpectable ; c'eſt à la renommée ſeule qu'il appartient de le faire avec dignité : qui mieux que vous, MESSIEURS, peut décider d'un ouvrage dont vous poſſédez l'enſemble auſſi parfaitement? Heureux ſi cette traduction peut mériter vos ſuffrages ! je vous ſupplie de la recevoir, comme une marque du reſpectueux attachement avec lequel j'ai l'honneur d'être,*

MESSIEURS,

Votre très-humble & très-obéiſſant ſerviteur,
DUPUY, fils.

# TABLE

## DES MATIERES

Contenues dans cet Ouvrage.


PRÉFACE *du Traité de Mathématiques de Benjamin Robins, par l'Editeur Jacques Wilson, &c.* page 1

*Préface de M. Robins,* 73

*Traduction des notes de la Préface de M. Robins, suivant l'ordre des pages,* 123

NOUVEAUX PRINCIPES D'ARTILLERIE.

CHAP. I. *de la force de la poudre. Proposition premiere,* 133

*Expérience de M. Hauksbée, pour con-*

*noître la quantité d'air que la poudre produit par ſon inflammation, &c.* 141

CHAP. II. *De la réſiſtance de l'air, & des lignes que décrivent les bombes & les boulets,* 244

Nouveaux Traités ajoutés au premier.

COMPTE RENDU d'un Livre intitulé : *Nouveaux Principes d'Artillerie, contenant la détermination de la force de la poudre à canon, & de la réſiſtance que l'air oppoſe à des mouvements ou rapides ou lents, autant que cette réſiſtance influe ſur la force de la poudre à canon, &c.* 292

N°. I. *De la réſiſtance de l'air,* 323

N°. II. *De la réſiſtance de l'air, avec une méthode de calculer le mouvement des corps projetés dans ce milieu,* 329

N°. III. *Compte rendu des Expériences faites ſur la réſiſtance de l'air, lu en différents temps devant la Société royale en 1746,* 362

N°. IV. *De la force de la poudre enflammée, & du calcul des vîtesses qu'elle communique aux projectiles militaires,* 392

N°. V. *Comparaiſon des réſultats de la théorie avec ceux des Expériences ſur les amplitudes des bombes & boulets,* 412

*Maximes pratiques concernant les effets & la conduite de l'Artillerie, & la portée des bombes & des boulets,* 439

PROJET *pour perfectionner la Marine Angloiſe, où l'on propoſe de ſubſtituer à tous les canons depuis ceux de 28lb de balles, des nouvelles pieces de même poids, mais d'un plus grand calibre,* 495

*Préface;* 497

*Projet pour perfectionner la Marine Angloiſe,* 499

*Lettre à M. Folques, Ecuyer, Préſident de la Société royale de Londres, en*

*réponse à une des siennes, où étoit renfermé un billet de M. d'Onorio, Envoyé du roi de Sardaigne,* 519

*Lettre à Mylord Anderson,* 537

*Sur l'art de pointer le canon contre des objets éloignés,* 546

*De la nature & des avantages des pieces de canon rayé,* 557

Fin de la Table.

## *APPROBATION.*

J'Ai lu, par ordre de Monſeigneur le Chancelier, un ouvrage ayant pour titre: *Nouveaux Principes d'Artillerie, ſuivis de différentes Diſſertations ſur le même ſujet, traduit de l'Anglois*; & non-ſeulement je n'y ai rien trouvé qui pût en empêcher l'impreſſion; mais il m'a paru qu'on devoit ſavoir bon gré à l'Auteur de cette Traduction, d'avoir fait connoître en France cet Ouvrage déjà connu depuis long-temps & eſtimé en Angleterre. A Paris, le 21 Avril 1771.

*MONTUCLA, Cenſeur Royal.*

## *PRIVILEGE GÉNÉRAL.*

LOUIS, PAR LA GRACE DE DIEU, ROI DE FRANCE ET DE NAVARRE: A nos amés & féaux Conſeillers les Gens tenant nos Cours de Parlement, Maîtres des Requêtes ordinaires de notre Hôtel, Grand-Conſeil, Prévôt de Paris, Baillifs, Sénéchaux, leurs Lieutenants Civils, & autres nos Juſticiers qu'il appartiendra; SALUT. Notre amé le Sr. DUPUY fils, Nous a fait expoſer qu'il deſireroit faire imprimer & donner au Public, de *Nouveaux Principes d'Artillerie, ſuivis de différentes Diſſertations ſur le même ſujet, qu'il a traduits*, s'il Nous plaiſoit lui accorder nos Lettres de Privilege pour ce néceſſaires. A CES CAUSES, voulant favorablement traiter l'Expoſant, Nous lui avons permis & permettons par ces Préſentes, de faire imprimer ledit Ouvrage

autant de fois que bon lui ſemblera, & de le vendre, faire vendre & débiter par-tout notre Royaume, pendant le temps de ſix années conſécutives, à compter du jour de la date des Préſentes. Faiſons défenſes à tous Imprimeurs, Libraires & autres perſonnes de quelque qualité & condition qu'elles ſoient, d'en introduire d'impreſſion étrangere dans aucun lieu de notre obéiſſance. Comme auſſi d'imprimer, ou faire imprimer, vendre, faire vendre, débiter ni contrefaire ledit Ouvrage, ni d'en faire aucuns Extraits, ſous quelque prétexte que ce puiſſe être, ſans la permiſſion expreſſe & par écrit dudit Expoſant, ou de ceux qui auront droit de lui, à peine de confiſcation des Exemplaires contrefaits, de trois mille livres d'amende contre chacun des contrevenans, dont un tiers à Nous, un tiers à l'Hôtel-Dieu de Paris & l'autre tiers audit Expoſant, ou à celui qui aura droit de lui, & de tous dépens, dommages & intérêts; à la charge que ces Préſentes ſeront enregiſtrées tout au long ſur le Regiſtre de la Communauté des Imprimeurs & Libraires de Paris, dans trois mois de la date d'icelles; que l'impreſſion dudit Ouvrage ſera faite dans notre Royaume & non ailleurs, en beau papier & beaux caracteres, conformément aux Réglements de la Librairie, & notamment à celui du dix Avril mil ſept cent vingt-cinq, à peine de déchéance du préſent Privilege; qu'avant de l'expoſer en vente, le manuſcrit qui aura ſervi de copie à l'impreſſion dudit Ouvrage, ſera remis dans le même état où l'Approbation y aura été donnée, ès mains de notre très-cher & féal Chevalier, Chancelier, Garde des Sceaux de France, le Sieur DE MAUPEOU; qu'il en ſera enſuite remis

deux Exemplaires dans notre Bibliotheque publique, un dans celle de notre Château du Louvre, & un dans celle dudit Sieur DE MAUPEOU, le tout à peine de nullité des Préſentes : du contenu deſquelles vous mandons & enjoignons de faire jouir ledit Expoſant & ſes ayant cauſe, pleinement & paiſiblement, ſans ſouffrir qu'il leur ſoit fait aucun trouble ou empêchement. Voulons que la copie des Préſentes, qui ſera imprimée tout au long, au commencement ou à la fin dudit Ouvrage, ſoit tenue pour duement ſignifiée, & qu'aux copies collationnées par l'un de nos amés & féaux Conſeillers-Secretaires, foi ſoit ajoutée comme à l'original. Commandons au premier notre Huiſſier ou Sergent ſur ce requis, de faire pour l'exécution d'icelles, tous actes requis & néceſſaires, ſans demander autre permiſſion, & nonobſtant clameur de haro, charte normande, & lettres à ce contraires : CAR tel eſt notre plaiſir. DONNÉ à Paris ce vingt-troiſieme jour du mois de Mai l'an de grace mil ſept cent ſoixante & onze, & de notre Regne le cinquante-ſixiéme.

Par le Roi en ſon Conſeil.

LE BEGUE.

---

## *CESSION.*

JE cede & tranſporte au Sr. GRABIT, Libraire, *les nouveaux Principes d'Artillerie de M. Benjamin Robins*, pour en jouir comme lui appartenant. Fait à Grenoble, ce 8 Juillet 1771.

DUPUY, fils.

# ERRATA.

Page 18. *lignes* 5 & 18. Napeir, *liſez* Neper.
Page 31. *ligne* 2. *effacez*, qu'elles tombaſſent toutes d'elles mêmes.
Page 43. *ligne* 8 de ces, *liſ.* des
Page 65. *ligne* 11. de fait, *liſ.* eſſuyé.
Page 67. *ligne* 17. auteurs, *liſ.* autres.
Page 92. *ligne* 24. ce général, *li.* cet auteur.
Page 109. *ligne* 1. parcoururent, *liſ.* parcourent.
Page 113. *ligne* 5. par une longue diſſertation, *liſ.* dans une longue diſſertation.
Page 129. *lig.* 25. d'autant que, *li.* d'autant mieux que.
Page 140. *ligne* 13. doivent, *liſ.* doit.
Page 157. *ligne* 7. celui de la poudre, *liſ.* celui qu'occupoit la poudre.
Page 200. *ligne* 11. fût à même, *liſ.* fût la même.
*Ibidem*, *ligne avant-derniere*, *ſupprimez* mais
Page 210. *ligne* 19. ce qu'il fait, *liſ.* ce qu'il ſe fait.
Page 224. *ligne* 14. la corde de cet arc fut, *liſ.* la corde de cet arc étoit.
Page 237. *ligne* 14. de même auſſi, *liſ.* ainſi.
Page 243. *ligne* 11. de boulets, *liſ.* de barils.
Page 245. *ligne* 13. de, *liſ.* des. *Ibid. ſupprimez* à peine.
Page 286. *ligne* 16. *ſupprimez* large.
Page 290. *ligne* 4. *ſupprimez* balle tirée.
*Ibidem*. *ligne* 5. *ajoutez* balle tirée après la même.
Page 313. *ligne* 22. mais, *liſ.* ſeulement.
Page 341. *ligne* 8. d'où la volée, *liſ.* d'où l'amplitude.
Page 342. *lignes* 17, 18. & qu'on cherche cet angle, *liſ.* on demande cet angle.
Page 369. *lignes* 11, 12, 13. & on trouva ſe faiſoient 10 révolutions ſuivantes enſuite que les en, *liſ.* & on trouva enſuite que les 10 révolutions ſuivantes ſe faiſoient en.
Page 409 *lignes* 22, 23. autée, *liſ.* augmentée.
Page 419. *lignes* 19, 20. *ſupprimez* la piece de 24 lb de balles porta ſon boulet à 2250. toiſes.
Page 426 *ligne* 12. longue, *liſ.* long.
Page 431. *ligne* 20. volées, *liſ.* amplitudes.

# PRÉFACE
# DU TRAITÉ
## DE MATHÉMATIQUES
## DE BENJAMIN ROBINS,

*Par l'Éditeur* JACQUES WILSON, *Docteur en Médecine.*

AVANT d'expoſer ſous les yeux du Lecteur le Traité de Benjamin Robins, mon ami intime, on ne ſera pas fâché que je donne un précis de l'Hiſtoire de ce grand homme, & que j'y joigne les réflexions que l'occaſion me fera naître ſur des ſujets concernant les Mathématiques. Benjamin Robins naquit à Bath, l'an 1707. Ses parents quoiqu'Eccléſiaſtiques n'étant pas bien



BIBLIOTECA FERRARIS
XI 2
NAPOLI

opulents, on craignoit que faute de moyens pour ſe ſoutenir, les progrès ſurprenants qu'il avoit fait de ſui-même dans différentes branches de Littérature, ne fuſſent bientôt interrompus, ſur-tout chez une nation qui ne fait pas le même cas que les autres de ces Sciences qu'elle appelle purement humaines, les ſuppoſant peu néceſſaires pour perfectionner l'intelligence, & donner l'explication de ce qui regarde la Théologie. (*a*) Quelques-uns des amis de M. Robins, deſirant qu'il continuât ſes études, pour ne point laiſſer languir dans l'obſcurité un génie auſſi diſtingué, & lui donner les moyens de ſe produire, tâcherent par leurs recommandations de lui faire avoir dans cette ville une chaire de Mathématiques, parce que c'étoit à cette ſcience ſur-tout qu'il s'étoit attaché dans ſes études; afin d'y réuſſir ils préſenterent à une perſonne de Londres un des ouvrages de ce jeune Mathématicien, pour que des Savants puſſent juger

(*a*) Apologie de Barcklaye, Prop. X, ſect. 18.

par-là de ſa capacité. Cet ouvrage fut montré au Docteur Pemberton, qui en le voyant ſe forma une haute idée de ſon auteur ; pour éprouver encore mieux ſes forces, il lui envoya quelques problêmes dont il demandoit des ſolutions élégantes, ſans être fondées ſur l'algebre ; afin qu'il pût plus facilement ſaiſir ſon idée, il y joignoit un exemple de ces ſortes de ſolutions. Mr. Robins répondit à toutes ſes queſtions d'une maniere qui lui fit connoître & le goût & le génie inventif dont il étoit doué.

A ſon arrivée à Londres, ſa préſence augmenta encore l'opinion favorable qu'on avoit conçue de ſes talents: car non-ſeulement il avoit l'eſprit orné des différentes ſciences auxquelles il s'étoit appliqué ; mais encore avec un air ſimple & naturel, il avoit un eſprit vif, & poſſédoit au plus haut degré le talent de s'exprimer en peu de mots avec clarté, avec énergie & élégance ; qualité qui ne ſe rencontre pas toujours dans les perſonnes éclairées & ſavantes. Cependant quoiqu'il eût plus de ſavoir qu'on en exige ordinairement dans les

Profeſſeurs, comme il étoit fort jeune on jugea à propos, qu'avant d'exercer la charge de Profeſſeur public, il étudiât pendant quelque temps les meilleurs auteurs ſur les parties ſublimes des Mathématiques. Durant cet intervalle, pendant lequel il s'adonna auſſi à l'étude des langues modernes, on lui procura les moyens de lire en particulier les ouvrages d'Appollonius, d'Archimede, de Fermat, Huygens, de Wit, Sluſius, Jacques Gregory, du Docteur Barrow, de Newton, du Docteur Taylor, & de M. Cotes. Sans autre ſecours que ſes propres lumieres, il comprit aiſément tous ces auteurs, & il en donna ſouvent des preuves à ſes amis; telle fut entr'autres ſa Démonſtration de la derniere propoſition de Newton dans ſon Traité ſur les Quadratures; Démonſtration qui fût jugée digne d'être inſérée dans les Tranſactions Philoſophiques. (*a*) Peu de temps après il ſe préſenta une occaſion de faire connoître aux Savants les progrès qu'il avoit fait dans la Philoſo-

(*a*) Pour l'année 1727, n°. 397.

phie naturelle. L'Académie Royale des Sciences à Paris, entre les queſtions pour les prix, avoit propoſé de démontrer les Loix de la Communication du mouvement dans les corps qui ſe preſſent de ſuite. (*a*) Le célebre Jean Bernoulli daigna concourir ; mais comme ſa Diſſertation ne remporta point le prix, il en appella au monde ſavant (*b*), & s'efforça d'établir l'opinion de Mr. Leibnitz ſur la force des corps mis en mouvement par les effets de leur choc contre des matieres élaſtiques. Signor Poleni avoit déja tenté de prouver la même choſe par les expériences qu'il avoit faites au ſujet des corps qui tombent ſur des matieres qui cedent à leurs chocs ; mais l'inſuffiſance de ſes raiſonnements ayant été évidemment démontrée, (*c*) Monſieur Robins, pour répondre aux nouveaux arguments de Mr. Bernouilli, publia un ouvrage intitulé, l'*Etat preſent*

(*a*) En 1724 & 1725.
(*b*) Diſcours ſur les loix de la communication du mouvement, par M. Bernoulli, à Paris, 1727.
(*c*) Tranſ. Philoſoph. en 1722. n°. 371.

*de la république des Lettres*, (*a*) dans lequel il donnoit une réfutation ſans replique de l'ouvrage de Mr. Bernoulli.

On ſera peut-être étonné, qu'un ſimple écolier pût accabler ainſi un maître, & un vétéran redouté; mais on doit faire attention, que quoique Mr. Bernoulli eût dans les pures Mathématiques, le génie le plus inventif; cependant lorſqu'il s'agiſſoit d'expliquer quelque cauſe phyſique, il faiſoit preſque toujours de faux raiſonnements, & cela parce qu'il n'avoit pas dans la conception cette netteté ſi néceſſaire pour éviter l'erreur, lorſqu'il s'agit de queſtions compliquées, au lieu que Mr. Robins poſſédoit cette qualité dans le degré le plus éminent.

La protection de ſes amis & plus encore ſa réputation, lui attira bientôt un grand nombre d'écoliers, parmi leſquels il s'en trouvoit qui avoient du génie, & commençoient déja à ſe diſtinguer dans les affaires publiques.

Il faut remarquer que vers ce-temps,

(*a*) Dans le mois de Mai 1728.

il quitta l'habit & la profeſſion de Quaker ; l'opiniâtreté, la ſuperſtition & l'enthouſiaſme ne pouvant entrer dans ſon caractere, & n'étant capable ni de feinte, ni d'hypocriſie, il ſurmonta bientôt les préjugés de l'éducation. Il ne laiſſa pas néanmoins de cultiver toujours l'amitié de pluſieurs perſonnes attachées à cette Secte : n'ignorant pas que dans tous les temps & dans tous les lieux, il s'eſt trouvé des perſonnes de mérite, pleines d'intelligence & même de bonne foi, qui entraînées par la force des premieres impreſſions, & d'une certaine tournure d'eſprit, ne veulent point abandonner les abſurdités les plus palpables, & en font les objets de leur croyance.

La méthode qu'il ſuivoit pour enſeigner ſes éleves, étoit à peu près la même que celle qu'il avoit ſuivie dans ſes études. Mais comme il donnoit ſes leçons à chacun en particulier & jamais en claſſe, il lui étoit facile de la varier, ſuivant les diſpoſitions ou l'intention de ſon éleve. Il commençoit cependant toujours par les éléments d'Euclide, tels qu'ils nous ont été tranſmis

par les anciens, & non ſuivant Campanus ou Clavius, qui les ont ſi mal interprétés, ſuivant Hérigone & Barrow, qui en ont retranché la plus grande partie, ou enfin ſuivant Taquet ou de Challe, qui les ont entiérement dénaturés. Il ſe ſervoit encore moins de cette multitude d'éléments nouveaux qui abondent par-tout.

Il ne faut cependant pas s'imaginer, par ce que je viens de dire, que je prétende empêcher ceux qui veulent étudier, d'avoir recours à l'Euclide de Clavius. Il ne s'y trouve rien de contraire à l'exactitude de la démonſtration ; il contient même, par rapport à la Géométrie, quelques particularités aſſez curieuſes. Cet abrégé, auquel le Docteur Barrow a réduit ces éléments, peut être utile pour rappeller à la mémoire ce qu'on a étudié dans l'original. On en peut dire autant de ſon Archimede, de ſon Apollonius & de ſon Théodoſius.

On ne ſauroit trop s'appliquer dans les commencements à étudier comme il faut ; car bien des Mathématiciens, qui ont acquis une certaine réputa-

tion, pour n'avoir pas bien fait leurs premieres études, ont été ſouvent incapables de former une démonſtration ſynthétique, telle qu'elle devroit être; ſouvent même ils n'ont pu ſans peine comprendre une démonſtration ainſi formée, & quoiqu'elle fût conſtruite ſuivant toutes les regles de la Géométrie, elle leur a paru obſcure & ennuyeuſe. Cela vient de ce qu'ils n'entendoient pas l'expreſſion naturelle de la vraie Géométrie. C'eſt ce qui a été cauſe qu'une grande partie des Ecrivains Modernes, ont ſurchargés leurs ouvrages de calculs, fort au deſſous de ce que l'art peut imaginer. Et c'eſt ce qui a porté Mr. Robins a répéter ſouvent l'expreſſion élégante de Jean de la Fallie: *Beaucoup ſavent les Mathématiques, mais peu ſont Mathématiciens* (a).

Parmi les éleves de Mr. Robins, qui ſe rendoient à Cambridge, pour ſe mettre en état d'exercer quelques profeſſions relatives aux ſciences, il

(a) *De centro gravi circa, & ellip.* dans la Préface.

s'en trouvoient qui entroient dans des conteſtations très-vives avec les diſciples du Docteur Saunderſon, parce que ce dernier ſuivoit une méthode d'inſtruction fort différente; en effet, j'ai trouvé beaucoup de ſavants, qui ne croyoient pas que les éléments d'Euclide, lorſqu'ils étoient enſeignés dans des claſſes, fuſſent ſuffiſants pour l'inſtruction du commun des étudiants; quoiqu'ils avouaſſent que ces éléments étoient le livre le plus parfait dans ſon genre. Cependant le fameux Maclaurins ſemble réfuter cette opinion, par la conduite qu'il a tenue dans ſes cours académiques; ce ſavant Mathématicien les commençoit toujours par Euclide (*a*).

Ces éléments méritent d'être étudiés ſoigneuſement par ceux mêmes, qui ne veulent pas entrer dans les ſpéculations Mathématiques. Certainement les ſyſtêmes de Logique les mieux travaillés, leur ſont bien inférieurs, pour acquérir l'habitude de raiſonne-

(*a*) Voy. ſa vie à la tête du Supplément qu'il a donné pour les découvertes Philoſophiques de Newton.

ments ſuivis : car la logique doit en partie ſon origine aux idées puériles & ridicules de ces ſophiſtes pointilleux, que Platon a ſi bien dévoilés : elle paroît ſi peu propre pour faire découvrir la vérité, que le grand maître de cet art lui-même tomboit ſans ceſſe dans les contradictions les plus palpables (*a*).

Les deux principales ſources du faux raiſonnement, viennent de ce qu'on emploie ſouvent des termes équivoques, & qu'on s'appuye ſur des principes qui ne ſont pas aſſez bien établis. Ce n'eſt donc qu'en exerçant ſon eſprit par des raiſonnements ſuivis, & fondés ſur des principes certains, qu'on peut ſe préſerver des erreurs que les ſyllogiſmes renferment ; par ce moyen ſeul nous pourrons acquérir l'habitude de diſtinguer un raiſonnement parfait de celui qui n'en a que l'apparence.

Euclide dans ſes éléments, a l'avantage de traiter un ſujet, qui par ſa ſimplicité ne peut admettre aucune ambiguité de termes ; & le but prin-

(*a*) Ariſtote.

cipal de ſes démonſtrations, c'eſt de réduire les principes qu'il adopte aux plus évidents & aux moindres termes, & cela par une méthode d'autant plus naturelle, qu'elle contribue le plus à faire comprendre parfaitement la matiere que l'on traite ; c'eſt celle par laquelle, commençant par expliquer les points les plus aiſés à concevoir, & qui ſemblent découler immédiatement des principes établis, on paſſe par degrés à ceux qui en étant plus éloignés ſont par conſéquent moins évidents, & demandent pour être prouvés une plus longue chaîne de raiſonnements.

Les anciens Géometres s'étoient ſi bien fait une loi de donner à leur raiſonnement la plus grande clarté poſſible, que Mr. Robins ſe détermina à faire voir à ſes éleves le Traité d'Appollonius ſur les ſections coniques, préférablement aux ouvrages modernes.

S'il reconnoiſſoit en eux l'eſprit d'invention, il leur recommandoit d'étudier l'analyſe Géométrique des anciens, à cauſe de cette élégance, que dans bien de cas, les gens éclairés

ſeront obligés de reconnoître ; Mr. d'Alembert lui-même avoue, " que „ dans pluſieurs occaſions l'analyſe „ loin d'abréger les démonſtrations les „ rend au contraire plus embarraſſées ; „ tels ſont par exemple pluſieurs pro- „ blêmes, & théorêmes, où il s'agit „ de comparer les angles entr'eux „. (a) Le Docteur Halley, quoiqu'il eût dans les commencements donné à l'algebre les plus beaux éloges, cependant lorſqu'il ſe fut un peu familiariſé avec l'analyſe géométrique, il ne balança pas à lui donner la préférence, comme on le peut voir par ce qu'il dit dans les tranſactions Philoſophiques : (b) *Methodus hæc cum Algebrâ ſpecioſâ facilitate contendit, evidentiâ vero & demonſtrationum elegantiâ eam longè ſuperare videtur ;* il ajoute enſuite : *verum perpendendum eſt aliud eſſe problema aliqualiter reſolutum dare quod modis variis plerumque fieri poteſt, aliud methodo elegantiſſima id ipſum efficere analyſi breviſſima, & ſimul perſpicuâ*

(a) Encyclop. t. 1, p. 551.
(b) Tranſ. ph. N°. 205.

*ſyntheſi concinna & minimè operoſâ. Hoc veteres præſtitiſſe argumento eſt Apollonii liber, quem in præſentiarum tibi ſiſtimus* (*a*).

Quant aux principes d'Algebre, ceux que donnoit Mr. Robins étoient de lui, ils étoient pleins de netteté & de clarté débarraſſés de ces raiſonnements confus, de ces fauſſes idées, dont le commun des auteurs répandoient l'obſcurité ſur une matiere ſi ſimple, & qu'il eſt ſi facile de comprendre. Les noms d'affirmatifs & de négatifs donnés à ces termes, qui dans le fond n'exprimoient que le rapport d'une quantité à une autre, en leur donnant quelques qualités abſolues, ont occaſionnés tout cet air de myſtere qui ne ſervoit qu'à embrouiller l'eſprit des commençants. Pour s'en convaincre il ne faut que jetter les yeux ſur la longue explication des quantités affirmatives & négatives donnée par Saunderſon, dans ſon Traité volumineux de l'Algebre, pag. 50 & 56.

(*a*) Préf. *in Apoll. de ſectione rationis.* Oxfort 1706.

M. Robins expliquoit encore la Méthode des fluxions, & ce qu'on appelle la Géométrie ſublime d'une maniere des plus intelligibles, ſans avoir le moindre beſoin de recourir à la notion abſurde des indiviſibles, ou des infiniments petits : il en donne la démonſtration la plus claire & en même temps la plus courte dans l'introduction à ſon admirable Traité ſur les Quadratures; les idées de Saunderſon ſur cette partie des Mathématiques furent reſtreintes, & reſſerrées avant que Mr. Robins en eût donné une explication complette.

Je ſais que bien de Profeſſeurs, comme *Pardies*, *Sturmius*, & pluſieurs autres d'un auſſi mince génie n'adopteront pas la méthode d'enſeigner que ſuivoit Mr. Robins, elle étoit trop rigoureuſe & trop pleine d'exactitude. Par celle dont ils ſe ſervent, ils s'accommodent bien mieux au caractere de bien des gens, qui voyant regner par-tout le goût des ſpéculations, ſeroient bien aiſes d'en acquérir une connoiſſance légere, ſans qu'il leur en coûtât beaucoup de temps & de

réflexions. Je deſirerois bien qu'on n'admît pas dans nos Colleges, ces méthodes ſi vantées par les gens ſuperficiels & demi-ſavants : je me flatte qu'enfin l'Univerſité, ſi illuſtre par ſes progrès dans les Mathématiques & les autres Sciences, bannira pour toujours ces méthodes ridicules, qui dans tous les genres ne meneront jamais à rien ; & que la gloire d'un *Spenſer* & d'un *Milton*, d'un Bacon & d'un *Arvey*, d'un Barrow & d'un Newton inſpireront enfin aux nobles génies le louable deſir de ſuivre ces grands hommes dans le ſentier de l'immortalité : je ne ſouhaitepas de moindres ſuccès à la haute Univerſité dont les membres ſavants ſe ſont rendus illuſtres dans tous les ſiecles, non-ſeulement dans ces temps éclairés par la véritable ſcience ; mais encore lorſque toute l'Europe étoit plongée dans les ténebres de l'ignorance, on vit à Oxfort des génies brillants percer l'épais nuage qui ſembloit envelopper tous les eſprits ; & on trouve encore dans la fameuſe bibliotheque de Bodleyan, des manuſcrits où l'on peut reconnoître

reconnoître leur mérite & leur ſavoir : j'eſpere qu'une méthode méchanique & ſi mal entendue, ne ſera jamais admiſe dans le ſéjour même de la ſcience, dont les Profeſſeurs zélés, afin d'arrêter le cours de ces dangereuſes innovations ont donné aux amateurs des Sciences, des éditions parfaites d'*Euclide*, d'*Apollonius*, de *Theodoſius* & de *Menelaüs*; comme c'eſt par le Doyen même (*a*), le fameux Alderich, qu'a été commencée cette heureuſe entrepriſe, on a lieu d'eſpérer que les dignes Gouverneurs de cette Univerſité nous donneront le reſte des ouvrages des anciens.

Sans la multiplicité de ſes occupations, le Docteur Halley nous eût donné Papus en original ; les peines & le travail qu'il lui en avoit coûté pour bien ſaiſir & comprendre cet auteur, étoient égales à ſon ſavoir & à ſon habileté ; c'étoit pour Mr. Robins un ſen-

(*a*) Ce ſavant homme, dans ſon *Artes Logicæ Compendium*, a juſtifié Euclide de ce qu'on avoit objecté contre lui dans une Logique intitulée, *l'Art de penſer.*

ſible plaiſir de voir s'établir dans l'Ecoſſe le goût de la vraie Géométrie. Chez cette nation ſavante les Mathématiques ont eu les plus grands ſuccès. C'eſt à un Ecoſſois, (le Lord Napeir) que nous ſommes redevables, non-ſeulement de l'invention des Logarithmes (*a*), & de leur application à la Trigonométrie ; mais encore de pluſieurs autres découvertes auſſi utiles que curieuſes, on ne doit pas douter qu'il n'eût fait, ſans le mauvais état de ſa ſanté, de bien plus grands progrès dans les Sciences. C'eſt de l'Ecoſſe qu'eſt ſorti l'incomparable Jacques Grégori, dont la gloire naiſſante commençoit à donner de l'ombrage au

(*a*) Le Lord Napeir fut non-ſeulement l'inventeur du ſyſtême des Logarithmes, mais encore celui de ce ſyſtême perfectionné, que notre Compatriote Mr. Briggs, a enfin exécuté avec un travail immenſe : cependant on croit communément que Mr Briggs lui ſeul en eſt l'auteur, parce que Mr. Wingate a répandu ces faux bruits, le Docteur Saunderſon dans ſon détail embrouillé des Logarithmes, donnés dans ſon Algebre ſ. 392, tombe auſſi dans la même erreur, quoique Mr. Briggs lui-même avoue dans ſon *Arithmetica Logarithmetica*, que c'étoit à Napeir qu'il devoit l'idée de ſon nouveau ſyſtême des Logarithmes.

grand Huygens (*b*) ; il eût été ſûrement un des plus grands hommes, ſi une mort prématurée ne l'eût enlevé trop tôt pour les Mathématiciens : le grand Newton connoiſſoit aſſez l'étendue de ſon génie, & toutes les fois qu'il en entendoit parler, il ne pouvoit s'empêcher de donner à ſa perte les plus grandes marques de ſenſibilité.

Mr. Robins, comme je l'ai rapporté ci-deſſus, paſſa donc les premieres années de ſa vie à faire des progrès dans les Sciences, dont le ſecours eſt abſolument néceſſaire pour aſſurer les fondements de la Société civile ; car la Société, ainſi que chaque individu, exige pour ſubſiſter qu'on la ménage & la dirige avec beaucoup de prudence & de ſageſſe. Ce ſont même les Sciences qui ont encore contribué ſoit à la découverte ſoit à la perfection de ces arts, qui ont apporté dans la vie

(*b*) Voyez leurs diſputes des années 1668 & 1669, ſur la quadrature du cercle & de l'hyperbole, dans le Journal des Savants & les Tranſactions Philoſophiques, comme auſſi dans les Exercices géométriques de M. Grégori, qui ſemblent avoir impoſé ſilence à M. Huygens.

autant d'aiſances que de commodités.

C'eſt aux Sciences, par exemple, qu'on doit l'art de fortifier les villes ou de les embellir, & celui de repréſenter les objets viſibles : ce ſont elles qui nous ont appris à diſpoſer des éléments pour ſatisfaire à nos beſoins & fournir à nos plaiſirs ; la Muſique même leur doit ſa naiſſance : en effet, ſes différents tons ne proviennent que des vibrations faites dans l'air. Par leurs différentes combinaiſons ſont formés les ſons concordants & les diſcordants ; & ce ſont ces combinaiſons que les Sciences nous ont fait trouver. Cet art Divin eut de tout temps la plus grande influence ſur l'eſprit humain. C'eſt lui qui a le plus contribué à adoucir les mœurs des hommes.

Il fut toujours chéri par tous les plus grands héros de l'antiquité, tant ſacrés que profanes, & il n'eſt dans les temps les plus reculés aucun ſyſtême de Religion qui n'ait fait accompagner de la muſique le culte rendu à l'Etre ſuprême.

Les cieux, dont la vaſte étendue embraſſe tout, ſoit qu'ils ſoient éclairés

par les brillants rayons du Soleil, ſoit qu'ils ne ſoient ornés que par le foible éclat de la Lune & des Etoiles, doivent fixer l'attention de tout homme capable de réfléchir : or n'eſt-ce pas les Sciences, qui par des obſervations exactes & répétées, nous ont enfin découvert leurs mouvements ? C'eſt par leurs ſecours que nous ſommes parvenus à pouvoir expliquer les différentes révolutions, & apparitions des aſtres ; que nous déterminons le retour des ſaiſons qui réglent l'Agriculture ; que nous comptons les temps, & en diviſons l'écoulement en un grand nombre de petites parties ; que nous meſurons & partageons la circonférence du globe que nous habitons : aidés des Sciences nous trouvons les moyens de nous familiariſer en quelque façon, non-ſeulement avec les peuples qui habitent les contrées les plus éloignées ; mais encore avec ceux qui ont exiſté avant nous. Par leur moyen l'eſprit humain s'éleve au deſſus de tous ces préjugés extravagants, qui l'aſſiégeroient s'il n'avoit de l'homme qu'une connoiſſance légere & ſuperficielle.

L'Aſtronomie, par exemple, en fixant les temps où les éclipſes & les cometes doivent paroître, a fait évanouir tout ce que leur apparition avoit pour nous d'effrayant & de terrible.

Des obſervations même les plus frivoles, nous avons par le ſecours des Mathématiques, déduit des conſéquences les plus curieuſes & les plus admirables.

La propriété viſible de la balance ordinaire, & celle des corps qui flottent dans les fluides, ont donné naiſſance à des Arts auxquels nous devons des ouvrages pleins de magnificence & de grandeur.

De ce qu'une rame plongée dans l'eau paroît être rompue, de cette apparence, qui fourniſſoit tant d'arguments aux Académiciens dans leurs puériles diſputes ſur la certitude des choſes humaines (*a*), les Mathématiciens ont tiré des conſéquences qui leur ont fait découvrir la maniere dont ſe forme la vue, & les moyens de perfection-

(*a*) Queſtions Académiques de Ciceron, ou Ciceron acad. l. 4, f. 7, 25.

ner cette faculté : elle leur a fait appercevoir les propriétés ſurprenantes de la lumiere, qui nous fait voir les objets revêtus des couleurs les plus belles & les plus variées ; ils ſont même parvenus à déterminer quelles eſpeces de particules telle matiere doit avoir, & dans quel ordre elles doivent être diſpoſées pour réfléchir, tel rayon plutôt qu'un autre.

La gravitation des corps vers la terre a fait découvrir les loix de cette attraction inhérente à toutes les portions de matiere, & comment en conſéquence de ces loix les corps céleſtes conſervent toujours entr'eux le même ordre, & ſuivent leurs cours reſpectifs à travers l'eſpace immenſe du vuide. Delà la ſtructure de l'Univers ſe découvre à nos yeux ; nous voyons toutes les parties de cet enſemble même les plus éloignées aſſujetties à un ſeul & unique principe, dont la ſimplicité doit nous donner une bien haute idée de ſon Auteur, dont la puiſſance, la ſageſſe & la bienfaiſance s'annoncent dans tous ſes ouvrages : cela ſeul ſuffit pour bannir de nos eſprits toutes les notions

indignes de lui, que voudroient nous en donner la ſuperſtition & l'enthouſiaſme.

Mais, ſans parler de ces grands avantages que procurent au genre humain les ſciences Mathématiques, combien de plaiſir un eſprit amateur de la vérité, ne doit-il point goûter, lorſque paſſant par les différents degrés du raiſonnement, il voit d'un coup d'œil toutes les propriétés de la grandeur, & toutes les découvertes qu'on a faites, depuis que pour l'étude de la nature on s'eſt ſervi du ſecours des ſciences; & peut-être c'eſt dans ces douces ſatisfactions, que nous trouverons un jour notre ſuprême félicité; mais comme les caracteres ſont ſi différents, que ce qui plaît à l'un paroît inſipide à un autre, nous avons un défaut, qui ſe trouve même parmi des perſonnes pleines de ſavoir & de génie, c'eſt de ne priſer que la ſcience à l'étude de laquelle nous nous appliquons, & de mépriſer toutes les autres (*a*). J'eſpere cependant qu'enfin

(a) *Eodem modo de Ariſtotele & Iſocrate judicio quorum uterque ſuo ſtudio delectatus contempſit alterum.* Cic. Offic. dans le commencement.

l'expérience & la réflexion nous feront revenir de ces préjugés déraiſonnables : devenus plus circonſpects, nous n'oſerons plus porter des jugements téméraires ſur des arts & des ſciences, dont l'utilité eſt généralement reconnue, & que la plupart du temps nous ne mépriſons, que parce que, ou nous ne les avions point aſſez attentivement conſidérées, ou même nous manquions de talents pour les approfondir.

Il eſt encore ſouvent arrivé, & cela dans tous les temps, que des auteurs, ſans mépriſer les autres ſciences, tâchoient de les rabaiſſer, pour donner un nouveau luſtre à celle dont ils faiſoient profeſſion. Ainſi Ciceron, quoique dans pluſieurs de ſes ouvrages, ait donné de grands éloges aux Mathématiques, ne laiſſe pas cependant au commencement de ſon Traité ſur l'Orateur, pour relever encore plus le mérite de l'éloquence, de s'exprimer en ces termes ſur les Mathématiques : *quis ignorat, ii, qui Mathematici dicuntur, quanta in obſcuritate rerum, & quam recondita in arte, & multiplici, ſubtilique verſentur ? quo tamen in genere,*

*ita multi perfecti homines extiterunt, ut nemo fere ſtuduiſſe ei ſcientiæ vehementius videatur, quin quod voluerit conſecutus ſit ;* & même de nos jours, un des plus célebres auteurs, qui ſouvent avoit montré beaucoup de reſpect & d'eſtime pour les Mathématiques, n'a pas craint de dire, lorſqu'il expoſoit les difficultés de l'art dans lequel il a ſi bien réuſſi, *il eſt facile d'apprendre la Trigonométrie* (a).

Mais tous les auteurs qui font ainſi de ces injuſtes comparaiſons, auroient bien dû diſtinguer entre acquérir quelques connoiſſances dans un art, & y faire des découvertes : car, quoiqu'il ne ſoit peut-être pas difficile d'entendre la Trigonométrie, cependant il n'appartient pas à tout le monde d'y ajouter & de la perfectionner, & il y a eu peu d'Archimedes & de Newton.

Quant à moi, quoique je défende ici avec aſſez de chaleur la ſcience que cultivoit mon ami, je ſuis bien éloigné cependant de mépriſer les autres ;

(a) Préface d'une Comédie intitulée le *Caffé* ou l'*Ecoſſaiſe*, p. 9, imprimée en 1760.

& je ne prétends point placer les Mathématiques au deſſus d'elles.

Après ce que nous venons de dire, il ſeroit inutile de parler de ceux qui, faute de goût ou de juſteſſe dans l'eſprit, ont parlé avec mépris des Mathématiques, comme entr'autres, Joſeph Scaliger, qui ayant vu faire à Clavius des parallogiſmes groſſiers, pour trouver la quadrature du cercle, non-ſeulement témoigna ſon mépris pour cet auteur, mais eut encore la vanité de dire : *præclarum ingenium non poteſt eſſe magnus Mathematicus ;* (a) & dans une autre occaſion ce critique ſi déciſif appelle notre illuſtre Chevalier *Henry Sevile, un certain ſot plein d'orgueil* (b) ; mais le ſavant Chevalier ayant bien reconnu à Paris les défauts de Scaliger, lorſqu'il s'agiſſoit de raiſonner, peignit ſon véritable caractere dans ſes leçons ſur Euclide (*c*) : ces baſſeſſes de génie devoient néceſſaire-

(a) *Scaligerana*, art. Clavius.
(b) *Scaligerana*. art. Caſaubon.
(c) *Sectione* 2, *p.* 22, *ſect.* 4, *n°.* 73 *& ſect.* 12, dans les dernieres pages.

ment être inconnues à Mr. Robins, parce qu'il avoit également approfondi toutes ſortes d'arts & de ſciences; en effet, quoiqu'il fît profeſſion d'enſeigner les Mathématiques, il ne laiſſoit pas d'être d'un grand ſecours pour ſes amis, dans nombre d'autres branches de connoiſſances. Il étoit en état de connoître les véritables beautés des auteurs dans toutes ſortes de genres, comme auſſi ce que les ouvrages des grands Artiſtes avoient de meilleur; ſon goût & ſa capacité ne ſe bornoient point à une ſcience ou un art en particulier; mais il étoit également connoiſſeur dans tout ce qui concernoit l'Hiſtoire, l'art Oratoire, la Poéſie, la Muſique, l'Architecture, la Sculpture, la Peinture, & tous les ouvrages de génie & d'invention.

Quoiqu'il eût l'eſprit orné d'un ſi grand nombre de connoiſſances, jamais il n'en faiſoit parade: vif & amuſant dans la converſation, il ne cherchoit jamais que des ſujets gais & riants. L'emphaſe de la pédanterie, & l'affectation lui étoient inconnus: cependant lorſque l'occaſion s'en préſentoit, il

ſavoit dans les choſes les plus abſtraites, raiſonner avec beaucoup de clarté, de force & de juſteſſe.

La vie ſédentaire que ſa profeſſion l'obligeoit de mener, n'étant point du tout accommodée à ſon caractere actif, il l'abandonna peu à peu & embraſſa une nouvelle maniere de vivre qui exigeoit plus d'exercice, & pour laquelle il étoit bien mieux fait : car il étoit fort, bien proportionné, & d'une taille dégagée ; il fit pour la perfection de l'artillerie quantité d'expériences, imaginant bien que la réſiſtance de l'air influoit beaucoup ſur la vélocité des projectiles : il employa auſſi ce vaſte génie qu'il avoit pour l'invention dans les arts méchaniques qui dépendent des principes Mathématiques, comme ceux de conſtruire les moulins, de bâtir des ponts, deſſécher des marais, rendre les rivieres navigables, faire des ports de mer : dans ces dernieres recherches, *Guillaume Ockenden*, dont il cultivoit l'amitié depuis long-temps, & qui avoit pour le méchaniſme un génie tout particulier, fut d'un grand ſecours pour Mr.

Robins. Ces deux grands hommes s'aidoient mutuellement dans leurs travaux en ſe communiquant leurs penſées & leurs obſervations.

Entre les arts méchaniques, celui auquel s'attacha le plus Mr. Robins, fut la fortification ; il eut la facilité d'y acquérir de grandes connoiſſances, lorſqu'il alla examiner les fortifications des villes de Flandres, dans les voyages qu'il fit avec des perſonnes de diſtinction ; à ſon retour dans ſa patrie, il trouva entre les mains des ſavants un Traité aſſez amuſant, écrit directement contre les Mathématiciens, & intitulé l'*Analyſte*, c'eſt un ouvrage du Docteur *Bercley*, Evêque de Cloyne, déja fameux pour avoir ſoutenu divers paradoxes Métaphyſiques : la cauſe principale qui lui faiſoit faire des objections contre Newton, c'eſt qu'il n'entendoit pas les ouvrages de ce grand homme.

C'eſt pour cette raiſon que l'on conſeilla à Mr. Robins d'éclaircir & expliquer les ouvrages de Newton, pour faire tomber par-là toutes les objections qu'on pouvoit lui faire, & particulié-

rement celles de l'auteur de l'Analyſte, de maniere qu'elles tombaſſent toutes d'elles-mêmes, qu'on n'eût plus beſoin de recourir aux livres de l'Evêque, & que lui-même, s'il étoit poſſible, pût reconnoître la foibleſſe de ce qu'il avoit avancé avec tant d'aſſurance. En conſéquence Mr. Robins fit imprimer en 1735 un Diſcours, *ſur la nature & la certitude de la Méthode des Fluxions de Newton, & des premieres & dernieres raiſons.* Ce petit ouvrage plein de force & d'éloquence réunit & la clarté, & la briéveté de l'expreſſion.

Pour éclaircir la nature des fluxions, il fait obſerver que comme les fluxions d'une ligne, ne ſont autre choſe que la vîteſſe du point, qui par ſon mouvement décrit cette ligne, ainſi les fluxions des ſurfaces & des ſolides peuvent être exprimées par les vîteſſes des lignes ou des ſurfaces.

Il démontre enſuite les propriétés fondamentales des fluxions d'après la méthode des anciens, & de la maniere la plus rigoureuſe, & il fait voir comment on en peut faire l'application pour

déterminer les tengentes & les ſurfaces des courbes. Il prouve clairement quelle eſt la connexion de la nouvelle méthode, avec celle des anciens Géometres, qu'on appelle Méthode d'exhauſtion ; ce qui eſt de la plus grande utilité pour les jeunes Mathématiciens, afin de leur faire comprendre plus facilement la force des Démonſtrations de Newton.

Enfin dans la derniere partie il éclaircit la méthode de Newton pour nombrer les fluxions des quantités, & il finit par une explication de ce qui concerne les moments ; il étend même cette partie des Mathématiques plus loin que Newton ne l'avoit fait.

Quoique ce Traité fût écrit avec la plus grande clarté, & que les ſentiments de Newton y fuſſent expliqués avec la plus grande exactitude, il ſe trouva cependant des gens qui n'en reconnurent pas tout le mérite. Cela n'eſt point étonnant, d'autant mieux que pluſieurs de nos Mathématiciens, ayant d'abord appris dans l'analyſe des infiniment petits de Mr. le Marquis de l'Hôpital, à appliquer cette méthode géomé-

triques, ſont imbus des mauvais principes ſur les infiniment petits qu'on donne dans cet ouvrage, l'un d'entr'eux s'appuyant ſur des fondements auſſi mal établis, a ſous le nom de *Philalethes Cantabrigienſis*, entrepris la défenſe des Mathématiciens contre l'auteur de l'Analyſte, & s'eſt efforcé de ſoutenir ſes erreurs; ce qui engagea Mr. Robins à compoſer deux nouveaux Diſcours pour ſervir de ſupplément au premier. Comme ils peuvent être d'une grande utilité, pour faire ſaiſir plus facilement les ſentiments de Newton, j'ai cru que je devois les faire réimprimer. Je paſſerois volontiers ſous ſilence tous les emportements de Philalethes contre Mr. Robins, & les bas détours dont il ſe ſervit pour rabaiſſer le mérite de ce grand homme, ſi je n'euſſe vu un Savant appuyer ce détracteur, & blâmer Mr. Robins dans la Préface d'une traduction françoiſe de la méthode des fluxions & ſéries de Newton. J'ai donc entrepris de juſtifier mon ami; mais comme une telle Diſſertation m'écarteroit trop de mon ſujet, je la renvoie, ainſi que pluſieurs autres

choſes ſemblables, à l'appendix qui ſuit ce Traité.

En 1738, mon ami répondit à une objection contre Newton, qui ſe trouvoit à la fin d'un Traité en latin intitulé : *Matho ſive Coſmotheoria puerilis.* L'auteur étoit un certain Baxter, qui avoit déja compoſé ſur l'ame un ouvrage des plus volumineux ; au reſte, il falloit qu'il fût d'un génie bien borné, puiſqu'il ne put jamais, dans des choſes purement Mathématiques, appercevoir ſon erreur, quoiqu'elle lui fût démontrée de la maniere la plus évidente ; & c'eſt ce qu'il prouva aſſez clairement dans la Traduction de ſon Matho en Anglois, où il renchériſſoit encore ſur les faux raiſonnements qu'il avoit fait dans ſon premier ouvrage. Il y aura toujours de ces hommes préſomptueux, qui ne pouvant expliquer les points qui ne ſont pas ſuſceptibles d'explication, portent avec aſſûrance le même jugement ſur pluſieurs autres qui peuvent cependant être démontrés, & font voir par-là combien peu ils ont de juſteſſe dans l'eſprit. Il peut bien arriver que les plus grands génies tom-

bent quelquefois dans des paralogiſmes, & cela dans la Géométrie même; mais auſſi-tôt qu'on leur fait remarquer le faux pas qu'ils viennent de faire, ils ne tardent pas à le reconnoître & à ſe corriger; au lieu que les autres, ſi on leur fait appercevoir leurs erreurs, s'y engagent encore davantage. Ils ne comprennent pas ſeulement les objections qu'on leur fait, quelques claires qu'elles ſoient; ils ne ſavent eux-mêmes ce qu'ils ont voulu dire, n'ayant jamais eu une juſte idée du ſujet qu'ils ont témérairement entrepris de traiter.

En 1739, Mr. Robins fit imprimer des remarques ſur le Traité du mouvement de Mr. *Euler*, ſur l'Optique du Docteur *Smith*, à préſent Profeſſeur au College de la Trinité, dans l'Univerſité de Cambridge, comme auſſi ſur la Viſion diſtincte & indiſtincte du même auteur, & enfin ſur le diſcours du Docteur *Jurin*. Son principal objet dans cet ouvrage, c'eſt de montrer combien un Mathématicien eſt ſujet à ſe tromper lorſqu'il s'attache implicitement au calcul algébrique; dans la derniere partie il dit ſon

ſentiment avec aſſez de liberté, & dans ſa Préface il explique les motifs qui l'ont porté à compoſer cet ouvrage. A l'occaſion de ce Traité & du diſcours de Mr. Robins ſur les fluxions, il s'éleva entre lui & le Docteur Jurin de très-vives diſputes qui auroient pu durer long-temps, ſi Mr. Robins n'eût été appellé pour remplir un emploi public, ce qui les termina entiérement.

Tous les ouvrages à la tête deſquels il a mis ſon nom regardent les Mathématiques, de ſorte qu'il n'y a que ceux qui connoiſſent bien les anciens Géometres qui puiſſent en juger, & y admirer la clarté & l'éloquence avec laquelle ils ſont traités.

Quant à ſes ouvrages anonymes, la plupart étant à la portée d'un chacun, on y pourra facilement reconnoître & ſentir la force de ſes raiſonnements, l'exactitude de ſes deſcriptions, la beauté de ſes expreſſions, & l'harmonie de ſes périodes.

En 1739, il donna au public trois brochures qui lui acquirent beaucoup de réputation, quoiqu'il les eût com-

posé à la hâte, les incidents qui y donnerent lieu étant récents & inattendus.

La premiere étoit intitulée, *Observation sur la présente convention entre l'Espagne & l'Angleterre.* Le voile spécieux dont quelques-uns avoient tâché de couvrir la bassesse de cette négociation, y étoit entiérement levé, & il faisoit contre ce Traité des objections invincibles, qu'on fit valoir ensuite dans le Parlement lorsque cette affaire y fut agitée.

La seconde étoit un narré de ce qui s'étoit passé dans la salle des Communes des Citoyens de Londres, pour l'élection d'un Maire. Quoique cet ouvrage n'eût pas été composé pour un sujet aussi important que le premier, on y trouve cependant l'énergie d'un vrai orateur. La troisieme eut pour sujet l'incident que je vais rapporter. Plusieurs personnes de distinction qu'on appelloit alors patriotes, ayant vu, que malgré leurs oppositions la Chambre des Communes avoit confirmé le Traité fait avec l'Espagne, se retirerent, & ne voulurent plus se mêler des affaires du Parlement. Les Magis-

trats du parti opposé furent fort piqués de cette maniere d'agir ; cependant tout se calma, & les Membres qui s'étoient séparés du corps vinrent reprendre leurs places dans la Chambre. Cette résistance aux décisions du Parlement paroissant téméraire à bien des gens, on pria Mr. Robins de prendre leur défense. Il composa là-dessus un ouvrage qui fut remis à l'une des personnes intéressées pour le faire transcrire, & brûler ensuite l'original, de peur qu'on ne reconnût son auteur, que son état n'eût pu mettre à couvert du ressentiment des personnes que la liberté avec laquelle il y parloit pouvoit avoir offensé ; on jugea ensuite à propos d'adoucir un peu les choses, & on mit à la tête une Préface, quoique Mr. Robins ne fût point de cet avis, & qu'il s'y fût opposé. Cet ouvrage fut enfin publié sous ce titre : *Dissertation dédiée aux Electeurs, & autres libres Citoyens de la Grande-Bretagne, à l'occasion de la récente session, où l'on donne un détail de toutes nos négociations avec l'Espagne, & où l'on expose de quelle maniere elle en a agi avec nous*

*depuis 20 ans.* Cet ouvrage, quoique auſſi défiguré & tronqué, comme nous l'avons dit ci-deſſus, fut cependant reçu avec des grands applaudiſſements, ainſi que les obſervations qu'avoit fait ce grand homme, qui en quelque ſorte étoit à la tête du parti oppoſé à celui du Chevalier Walpole, qui par le ſecours de ſes adhérents fut élevé à un poſte des plus honorables. Les patriotes devenant tous les jours plus nombreux, & commençant à être les plus forts, le Chevalier Walpole qui voyoit que les affaires ne prenoient pas un tour avantageux pour lui, fit enſorte, pour ſe mettre en ſûreté, d'être promu à la dignité de Pair, ſous le nom de Comte d'Oxfort ; le Comité de la Chambre des Communes ayant été nommé pour examiner la conduite de ce Comte, Mr. Robins fut choiſi pour exercer la Charge de Secretaire.

Il ſe diſtingua dans cette place, & y donna de nouvelles preuves de ſa capacité, en minutant avec la plus grande facilité & exactitude les examens faits devant le Comité. L'emploi qu'il avoit étoit aſſez difficile à remplir, d'au-

tant mieux que les perſonnes dont on examinoit la conduite, étoient initiées dans les négociations ſecretes, & avoient le plus grand intérêt à empêcher que la vérité ne fût reconnue. Après avoir fait deux ou trois rapports, le Comité fut arrêté tout à coup par un compromis entre les deux partis oppoſés; tout fut terminé à l'avantage de la plupart des intéreſſés, qui obtinrent tous des charges & des honneurs. Mr. Robins ſeul fut oublié, parce qu'il avoit été un peu trop ſincere. En 1742 le ſecond rapport parut, quoique ſecrétement, & fut reçu avec un applaudiſſement général. Après avoir quitté le Secretariat, & dans le cours de la même année, Mr. Robins fit imprimer un petit Traité intitulé, *Nouveaux principes d'Artillerie*, dans lequel il donnoit les réſultats des expériences qu'il avoit faites ſur la force de la poudre, & ſur celle de l'air qui le fait réſiſter aux mouvements des corps qui les traverſent. La maniere dont il explique l'effort qu'oppoſe l'air aux boulets & aux bombes, eſt bien ſupérieure à tout ce qu'on avoit juſqu'alors imaginé ſur

ce ſujet. Il y détermine la différence de la ligne décrite par ces corps avec la parabole, avec plus d'exactitude qu'aucun de ceux qui ont écrit depuis le fameux Galilée juſqu'à nous.

Newton avoit bien, il eſt vrai, comme le remarque Mr. Robins, reconnu les effets de la réſiſtance de l'air, & montré comment on pouvoit aſſigner la courbe différente de la parabole que le Projectile décrit dans ſon mouvement (*a*). Ce grand homme n'ignoroit pas tout-à-fait que la réſiſtance doit s'accroître tant à cauſe du mouvement de rotation du corps mu, que de la preſſion du fluide qui doit agir néceſſairement plutôt ſur la partie de devant du corps que ſur la partie de derriere (*b*).

---

(*a*) Préface, pag. 51. de l'exemplaire.

(*b*) *Ibidem prop.* 40 dans la Scholie. Dans les remarques ſur l'expérience 12e, & parmi les notes de Mr. Robins, on trouve le paſſage ſuivant qu'il ſemble avoir eu deſſein d'inſérer dans la Préface de ſes diſcours qui avoient été lus dans la Société Royale, & dont il ſe préparoit à faire imprimer le Recueil; j'ai auſſi trouvé après que j'ai expliqué dans cet ouvrage ce que je penſois ſur ce ſujet, que Newton avoit eu les mêmes idées, quoique ce fût dans un cas différent. Car en parlant de quelques-unes de ſes con-

Ce Traité de Mr. Robins étoit précédé d'une Dissertation sur les progrès de la fortification depuis son origine, & d'un Abrégé de l'histoire de l'Artillerie & de la poudre à canons.

Son ouvrage fut bien accueilli, & on espéroit qu'il lui procureroit quelque chose d'avantageux ; mais il avoit été Secretaire du Comité secret. Peu de temps après il parut, n°. 465 des Transactions philosophiques, un Discours où l'on exposoit quelques expériences pour renverser les opinions que Mr. Robins avoit avancées dans son Traité. Il répondit à ces objections dans les mêmes Transactions philosophiques, n°. 469 ; il y rappella ses Dissertations sur la résistance de l'air, & il fit examiner

---

jectures sur la séparation des couleurs, il ajoute : " Je „ me suis souvenu que j'avois vu souvent une balle „ de paume, frappée obliquement par une raquette, „ décrire une ligne courbe; cela vient de ce qu'un mou„ vement circulaire, aussi-bien qu'un mouvement pro„ gressif, lui ayant été communiqué par ce coup obli„ que, les parties de la paume doivent frapper l'air „ contigu du côté de la direction de leur mouvement „ avec plus de force que de l'autre, & par conséquent „ la réaction doit être plus grande à proportion „. *Transact. phil. n°. 80. p. 3078*, du mois de Février 1671. & 1672.

ſes expériences par la Société royale, dans les années 1746 & 1747, ce qui lui valut une médaille d'or. A cette occaſion même le premier Préſident prononça un diſcours, dans lequel il s'adreſſoit à la Société royale & à Mr. Robins:

" MESSIEURS, l'utilité de ces expé-
„ riences curieuſes que notre digne
„ Confrere & Membre de cette Société,
„ Mr. Benjamin Robins a fait derniére-
„ ment en votre préſence, touchant la
„ réſiſtance de l'air lorſqu'il eſt traverſé
„ par des corps en mouvements, & par-
„ ticuliérement par les projectiles mili-
„ taires, & tous ceux qui ſont mus avec
„ rapidité, n'a pu échapper à l'attention
„ de mon prédéceſſeur, votre dernier
„ Préſident le Chevalier *Sloane*, qui n'a
„ abandonné le tracas des affaires, que
„ pour s'appliquer tout entier à des re-
„ cherches ſavantes & philoſophiques.
„ Il prend toujours le même intérêt à
„ la gloire & au bonheur de cette Socié-
„ té. Informé chaque jour dans ſa re-
„ traite de ce qui ſe paſſe parmi nous, &
„ de ce qui nous eſt communiqué de plus
„ remarquable, il n'en retire pas une

„ moindre ſatisfaction, que lorſque ſa „ ſanté & ſon âge lui permettoient de „ nous aſſiſter de ſes ſoins & de ſes con- „ ſeils, dans les différentes charges qu'il „ a exercées parmi nous.

„ Il a donc ſenti, comme je viens de le „ dire, l'utilité de ces expériences, auſſi „ leur a-t-il donné ſon approbation; & „ ſe trouvant chargé d'exécuter les volon- „ tés du feu Chevalier *Godefroy Copley*, „ il a adjugé à Mr. Robins la médaille „ d'or, que ce Chevalier a accordée au „ mérite, laiſſant à la Société le ſoin de „ diſpenſer ſes bienfaits.

„ Dans la derniere aſſemblée de notre „ conſeil, je fis part aux Gentilshommes „ de cette nomination. Ils l'approuverent „ tous d'une voix, & me remirent en „ conſéquence la médaille, ſur laquelle „ je fis graver, ſelon leur ordre, & le nom „ de Mr. Robins, & la date de la préſente „ année.

„ Par le ſecours de ces expériences, & „ de celles qu'il ſe propoſe encore de „ faire, nous pourrons peut-être complet- „ ter enfin la théorie des projectiles. Nous „ aurons acquis ce que les inventeurs „ *Galilée* & *Torricelli* diſoient qu'il leur

„ manquoit, & ce qu'ils ſouhaitoient „ qu'un jour des obſervateurs ingénieux „ vouluſſent nous démontrer par des ex- „ périences ſûres & rigoureuſes.

„ Newton, qui fit tant d'hon- „ neur non-ſeulement à cette Socié- „ té, à cette chaire de Préſident, à „ ſa patrie, & au ſiecle où il vivoit; „ mais encore au monde entier, & à la „ nature humaine : ce grand homme, dis- „ je, a bien recherché, par différentes „ théories & différentes ſuppoſitions, les „ loix de la réſiſtance de l'air ou des flui- „ des dans leſquels ſe meuvent des corps. „ Il a même fait des expériences pour con- „ noître la réſiſtance que l'air oppoſe aux „ oſcillations d'un corps ſuſpendu par une „ corde, ou à ſon mouvement dans ſa „ chûte; & telles ſont celles qu'il fit dans „ l'Egliſe de St. Paul, où il fit tomber des „ corps du plus haut de ſon dôme; mais „ il n'a jamais eu occaſion de faire des „ épreuves ſur la réſiſtance beaucoup plus „ conſidérable, que l'air oppoſe aux bom- „ bes ou boulets lancés par les machines „ militaires avec une rapidité prodigieuſe.

„ Il eſt arrivé delà que les auteurs „ même de la premiere claſſe, & qui poſ-

„ ſédoient de grandes connoiſſances, ne
„ faiſant point aſſez attention à la théo-
„ rie de ces mouvements, ont cru que
„ les gros boulets dont le poids ſurpaſ-
„ ſoit mille fois celui de l'air, & dont la
„ force étoit très-grande, n'éprouvoient
„ dans l'air qu'une réſiſtance inſenſible,
„ & qui pouvoit par conſéquent être
„ négligée dans l'eſtimation des ampli-
„ tudes des courbes décrites par une
„ bombe : c'eſt ce principe ſur-tout
„ que s'eſt propoſé d'examiner ce ſavant
„ homme, qui vient de nous faire part
„ de ſes découvertes. Il a fait uſage tant
„ de la théorie que de la pratique, & eſt
„ enfin parvenu, non pas à démontrer
„ quelle eſt la réſiſtance de l'air, mais du
„ moins il en a approché d'une maniere
„ ſuffiſante dans les calculs. Et par une
„ ſuite d'expériences les plus ingénieuſes,
„ il nous a fait voir combien elle étoit au-
„ deſſus de celle que les autres auteurs
„ avoient aſſignés, & comme elle dimi-
„ nuoit conſidérablement les amplitudes
„ des courbes décrites par une bombe ou
„ un boulet de canon ; il nous a fait de
„ plus obſerver en paſſant pluſieurs phéno-
„ menes inconnus & ſurprenants, comme

„ les diminutions ou augmentations de „ réſiſtance de la part de l'air, lorſque „ conſervant aux corps la même ſurface, „ & lui donnant la même force, on chan- „ ge les directions de ſon mouvement.

„ Il s'eſt encore convaincu par ſes „ épreuves, que la déclinaiſon d'un bou- „ let, & autre projectile, par rapport „ au plan vertical dans lequel on le tire, „ vient d'un mouvement de rotation que „ le mobile acquiert accidentellement, „ & au moyen de cette obſervation, il „ eſt parvenu dans pluſieurs cas, ou à „ empêcher cette déclinaiſon, ou à lui „ donner telle ou telle direction.

„ Il a encore reconnu (& c'eſt la der- „ niere de ſes obſervations que je vous „ rapporterai) que la réſiſtance s'accroît „ extraordinairement lorſque le projectile „ parcourt en une ſeconde, 11 à 12 cents „ pieds ; de maniere cependant, qu'il n'y „ a que la quantité de réſiſtance qui ſoit „ augmentée, & que ſes loix continuent „ d'être à peu près les mêmes qu'aupa- „ ravant; il faut remarquer que cela n'ar- „ rive, que lorſque le boulet eſt porté „ avec une vîteſſe égale à celle avec „ laquelle les ſons ſont propagés. Les

„ raiſons que Mr. Robins en donne ſont „ fort ingénieuſes. C'eſt, dit-il, parce que „ le reſſort de l'air n'étant pas aſſez „ prompt, il n'occupe pas aſſez vîte le „ vuide qu'a laiſſé le boulet, qui par con- „ ſéquent doit alors vaincre lui ſeul la „ force de la maſſe de l'air qu'il rencon- „ tre.

„ Je ne vous ferai point ici l'énumération „ de toutes ſes autres expériences, „ qui ſont auſſi curieuſes qu'inſtructives; „ les bornes que je dois mettre à ce diſ- „ cours ne me le permettent pas; j'ajou- „ terai ſeulement, que ne pouvant aſſez „ admirer le génie & l'invention de Mr. „ Robins, je ne puis auſſi donner aſſez „ d'éloges aux peines & aux fatigues que „ lui ont coûtées un ſi grand nombre „ d'expériences, qu'il a fait en partie le „ premier, & en partie d'après les autres, „ afin de les comparer enſemble, & de „ confirmer par les calculs qu'elles lui ont „ fourni, ceux que la théorie lui avoit fait „ faire.

*Monsieur Robins*,

„ C'eſt maintenant que je puis avec la „ plus grande ſatisfaction vous aſſurer de la

„ la haute eſtime qu'a conçu pour
„ vous & vos obſervations, cette
„ illuſtre Société : c'eſt par ordre & au
„ nom de tous mes Confreres que je vais
„ vous remettre le don qu'ils croient
„ tous devoir à votre mérite. Vous ne
„ devez point faire attention à ſon peu
„ de valeur. La Société qui vous le don-
„ ne ne rechercha jamais les richeſſes &
„ l'opulence ; les Sciences & les con-
„ noiſſances philoſophiques furent tou-
„ jours l'objet de ſes travaux. Recevez
„ donc cette médaille, comme les an-
„ ciens Grecs recevoient les couronnes
„ qui leur étoient déférées. Ce n'étoit
„ que ſimples guirlandes, que des feuil-
„ lages ; mais elles étoient le prix de la
„ vertu & du mérite, c'en étoit aſſez pour
„ les rendre aux yeux de ceux qui les re-
„ cevoient plus précieuſes que l'or même.

Les expériences & la théorie de Mr. Robins lui firent beaucoup d'honneur non-ſeulement dans ſa patrie, comme on vient de le voir ; mais encore dans les pays étrangers. Le fameux Mr. *Euler* le traduiſit en Allemand, & fit ſur ce petit Traité quelques remarques. Il y donne beaucoup de louanges à l'auteur,

& tâche cependant de découvrir des erreurs dans ſon ouvrage.

Cette Traduction fut imprimée à Berlin en 1745.

Son ouvrage fut auſſi traduit en françois par Mr. le Roy (*a*), les Journaux littéraires en parlent ſouvent, & avec de grands éloges (*b*). Entr'autres les auteurs de l'un de ces Journaux, en rapportant les expériences de Mr. Duhamel, ſur le même ſujet, diſent à cette occaſion : " Il nous rapporte quel-„ques expériences très-curieuſes qu'ont „fait d'autres Phyſiciens & particuliè-„rement Mr. Robins, que l'Angleterre „comptoit au nombre de ſes plus grands „Géometres ; mais que la mort lui en-„leva il y a quelques années (*c*).

La réputation que ſes ouvrages lui avoient acquis à ſi juſte titre, lui attira la viſite d'un Profeſſeur de Mathématiques étranger, qui dans cette entre-

(*a*) Mémoire de l'Acad. roy. des Sciences à Paris de l'année 1751, p. 45.

(*b*) Journal des Savants, Mai 1743. *Nov. Act. Acad. Maii* 1746. Mémoires de l'Académie royale des Sciences, à Paris 1750, p. 1. Mémoires des Sciences & Belles-Lettres, à Berlin, année 1755, p. 104.

(*c*) Journal des Savants, Janvier 1755.

vue conçut pour lui une ſi haute eſtime, que de retour en Hollande, il fit au feu Prince d'Orange le plus beau portrait de ſon ſavoir & de ſon mérite. En conſéquence, ce Prince invita Mr. Robins à paſſer les mers pour aſſiſter à la défenſe de Berg-Op-Zoom, que les François aſſiégeoient. Mais quelques jours après ſon arrivée à l'armée Hollandoiſe, la place fut emportée le 16 Septembre 1747.

Mr. Robins ne put donc pas en cette occaſion faire preuve de ſon habileté dans les opérations militaires; la même choſe lui étoit encore arrivée quelques années auparavant dans une occaſion où il eſpéroit de ſervir ſa patrie dans ce genre. En effet, le Mylord *Cathcart*, étoit chargé de l'exécution d'une expédition ſecrete qu'on croyoit menacer la Havane. Sur ce fondement, Mr. Robins, s'étant procuré un plan manuſcrit de cette place compoſé ſur les lieux mêmes, par un de ſes amis, s'étoit occupé à chercher les moyens poſſibles de faire le plus avantageuſement le ſiege de cette ville. Il interrogea à ce ſujet pluſieurs perſonnes qui y

avoient été, & enfin il ſe mit ſi bien au fait, & des forces & de la ſituation de cette fortereſſe, qu'il forma là-deſſus le plan des opérations néceſſaires pour s'en rendre maître. Il y faiſoit la deſcription des pays voiſins, indiquoit les endroits propres pour le débarquement des Troupes, il donnoit le détail le plus circonſtancié de la maniere dont il falloit procéder dans les attaques, d'abord contre le château, & enſuite contre la ville même. Enfin il n'avoit rien omis de tout ce qui exigeoit une explication. Lorſqu'il eut achevé ce projet, il alla le préſenter, ainſi que le plan manuſcrit, à Mylord Catheart, eſpérant qu'il lui donneroit un emploi dans cette expédition; mais il fut bien trompé dans ſes eſpérances. Car Mylord, quoiqu'il eût reçu ſon préſent avec beaucoup de plaiſir, & qu'il lui eût donné de grands éloges, ne parla nullement de lui faire partager la gloire de cette entrepriſe. Bien des gens s'imaginerent qu'il avoit été reçu avec tant de froideur, parce qu'il étoit du parti politique; mais le temps fit connoître enſuite que c'étoit Cartha-

gene, & non la Havane que menaçoient ces préparatifs infructueux.

Quelques années après Mr. Robins fut dédommagé de tous ces contretemps, par l'entrepriſe d'un ouvrage de bien plus grande conſéquence pour lui que tous ceux qu'il avoit compoſé auparavant.

En 1741, Mr. *Anſon* (aujourd'hui Lord *Anſon*, & qui étoit à la tête de l'Amirauté, lorſque nos flottes portoient la terreur par-tout où elles ſe préſentoient), monta en qualité de Commandant, le Centurion, vaiſſeau de guerre, & accompagné de pluſieurs autres bâtiments, commença ſon voyage autour du monde; & quoique par les malheurs qui lui arriverent, on en retirât pas tout l'avantage qu'on avoit eſpéré, il fut cependant d'une grande utilité, en ce qu'il ſe forma ſous un tel Commandant, un grand nombre d'habiles Officiers, qui font maintenant honneur à la marine Britannique. Le Public étant fort curieux d'avoir une relation de ce voyage, on chargea de ce ſoin Mr. Richard Walter, qui avoit été Chapelain à bord du Centurion, pen-

dant la plus grande partie de cette expédition. M. Walter avoit preſque achevé cet ouvrage, lorſqu'il propoſa de le faire imprimer par ſouſcription; & en conſéquence Mr. Robins fut chargé de l'examiner; on ne lui donna pour cela que fort peu de temps; & après ſon rapport, il fut réſolu qu'il ſe chargeroit lui-même de compoſer cet ouvrage, attendu que ce n'étoit en quelque ſorte qu'une copie des Journaux que Mr. Walter avoit donnée, & que, ſelon Mr. Robins, on ne devoit en tirer que des matériaux pour l'ouvrage. Les Mémoires compoſés par Mr. Robins, ſont preſque du double plus étendus que ceux de Mr. Walter; en effet, l'Introduction, ainſi que pluſieurs autres Diſſertations inſérées dans le corps de l'ouvrage, ſont entiérement de Mr. Robins, & là-deſſus le manuſcrit de Mr. Walter ne lui a pas fourni la moindre idée. Quant à ce qu'il a pris de ce manuſcrit, ce ſont les rapports concernant les vents, les temps, les courants, les courſes, les cinglements, les diſtances, les hauteurs, les ſondes, les amarrages, & les qualités des fonds, anſi

que toutes ces particularités que l'on trouve communément décrites dans les Journaux des Matelots.

Ce fut ainſi que Mr. Robins, ſur le manuſcrit de Mr. Walter, compoſa ces fameux Mémoires ſur les voyages autour du monde ; tous ſes amis, entr'autres Mr. Glover & Mr. Ockenden, en peuvent rendre témoignage, & je puis l'aſſurer moi-même avec certitude, ayant comparé cet ouvrage avec le manuſcrit de Mr. Walter.

On n'en faiſoit pas même un ſecret du temps de l'impreſſion de cet ouvrage, car on peut voir encore aujourd'hui par des conventions paſſées entre Mr. Robins & les deux Libraires, Jean & Paul *Knapton*, que Mr. Robins leur vendoit la copie de ſon ouvrage, comme appartenant à lui ſeul ; & ſans faire d'autres mentions de Mr. Walter, qu'à propos de certaines conditions, touchant les ſouſcriptions que ce dernier avoit déja reçues.

Mr. Robins avoit juſques-là fait paroître la plupart de ſes petits ouvrages, ſans mettre à la tête aucun nom d'auteur ; il fit imprimer celui-ci en

1748, ſous le nom d'un autre ; mais on ſavoit ſi bien que Mr. Robins en étoit le principal auteur, que tout le monde le félicita ſur les grands ſuccès qu'il avoit eu. En effet, jamais ouvrage ne fut ſi bien accueilli du Public, & en moins d'un an les exemplaires qu'on en fit dans quatre éditions différentes furent tous débités : on le traduiſit même dans la plupart des langues de l'Europe ; ſa réputation s'eſt toujours ſoutenue, & dans la préſente année 1761, on l'a de nouveau imprimé pour la neuvieme fois (*a*).

Quoique dans les langues étrangeres on ne puiſſe pas bien rendre, & bien ſentir toutes les beautés de cet ouvrage, cependant dans les Journaux de nos voiſins on en parle avec les plus grands éloges : entr'autres les auteurs du Journal des Savants (*b*), s'expliquent là-deſſus en ces termes : *auſſi croyons-nous avec lui, que ſon ouvrage eſt très-ſupérieur à tous ceux qui ont paru dans ce genre ;* & dans un autre endroit, au ſujet

(*a*) La 5e édition en 1749, fut revue & corrigée par Mr. Robins lui-même.

(*b*) Janvier 1750.

du tableau que fait Mr. Robins, de tout ce que les Matelots eurent à ſouffrir dans une partie de la navigation: *La peinture de ces divers accidents eſt ſi forte & ſi vive, qu'elle porte l'effroi & la commiſération dans l'ame des lecteurs.* Mr. d'Alembert, dans ſa Diſſertation ſur la figure de la terre, dit en rapportant les voyages qui ont été faits autour de la terre: *en dernier lieu ce voyage a été fait par l'Amiral Anſon, dont on a imprimé la relation ſi intéreſſante & ſi curieuſe* (a).

J'ai même appris que, dans un Traité publié à Paris en 1756 (*b*), & intitulé *Hiſtoire des Navigations aux terres auſtrales*, on a inſéré pluſieurs extraits de l'ouvrage de Mr. Robins; & c'eſt à l'occaſion de ce Recueil des voyages, que les auteurs du Mémoire de Trévoux (*c*), après en avoir examiné deux des plus fameux (*d*), & leur avoir donné de grands éloges, ajoutent cependant: *dans ces voyages on ne ſent pas cette*

(*a*) Encyclop. t. 6, p. 750.
(*b*) Journal des Savants, Octob. 1757.
(*c*) Janvier 1758.
(*d*) Ceux de Mr. Freziers & Loziers Bouvet.

*chaleur d'imagination, cette vivacité de ſtyle, qui caractériſe l'hiſtoire de l'expédition dont ſe chargea l'Amiral Anſon en 1741.... Richard Walter, Chapelain du vaiſſeau Amiral, qui a écrit la relation de ce voyage, y peint une flotte qui s'embarqua avec alégreſſe; qui vogue avec les plus hautes eſpérances, & qui au détroit de la Maire, & même à l'entrée de la mer pacifique, voit la fortune dont elle ſe repaiſſoit, s'évanouir dans le ſein des plus affreux déſaſtres: tout ce que l'un & l'autre élément peuvent offrir de plus riant & de plus effrayant, ſe rencontre ſous la plume de Walter: il varie agréablement les curieuſes obſervations ſur la Géographie, la Phyſique & la navigation.*

Si je rapporte tous ces témoignages en faveur de l'ouvrage de Mr. Robins, c'eſt de crainte qu'on ne s'imagine qu'à cauſe de l'amitié qui a toujours ſubſiſté entre nous, pendant plus de 20 ans, je me ſois un peu trop laiſſé prévenir en ſa faveur. La réputation que ſes ouvrages avoient acquis à Mr. Robins augmentant tous les jours, on le pria de faire une apologie de la malheureuſe affaire

de Preſtonpans en Ecoſſe. Cette apologie ſert de Préface au rapport qui fut publié à cette occaſion (*a*); & cette Préface eſt un chef-d'œuvre dans ſon eſpece : il y décrit les mouvements des armées Angloiſes & Ecoſſoiſes, y préſente la carte du pays, & les avantages, ainſi que les déſavantages du terrein, & cela avec tant de force & de clarté, que j'ai entendu dire à des perſonnes en état d'en juger, qu'ils la regardoient comme l'ouvrage le mieux écrit dans notre langue ; & en effet Mr. Robins poſſédoit au ſuprême degré l'art d'accommoder ſon ſtyle à tous les différents ſujets, ſoit dans le genre égayé, ſoit dans le ſérieux, de ſorte que ſa mort prématurée nous a privé d'un grand nombre d'ouvrages qu'il eût pu nous donner.

Mr. Robins eut enſuite par les ſecours du Lord Anſon, les moyens de faire pluſieurs expériences concernant l'Ar-

(*a*) Il eſt intitulé : *Rapport des Procédures & opinions du Conſeil d'Officiers-Généraux, dans leur examen touchant la conduite du Lieutenant-général* Jean Cope, *Chevalier du Bain-Colonel.*

tillerie ; on trouvera le réſultat des plus intéreſſantes dans le Diſcours que j'ai compoſé ſur les manuſcrits de cet auteur.

C'eſt à Mr. Robins que l'obſervatoire royal de *Greenwich,* doit le degré de perfection où il eſt aujourd'hui ; en effet, ce fut lui qui, par ſon crédit auprès du Lord Anſon, fit faire un ſecond mur en forme de quart de cercle, & pluſieurs autres inſtruments, dont l'aſſemblage rend cet obſervatoire le plus complet qu'il y ait encore dans le monde. Le nouveau quart de cercle, qui fut conſtruit pour les obſervations du côté du nord eſt de beaucoup plus parfait que le premier qui eſt diſpoſé du côté du midi. Les obſervations qui y ont été faites par Mr. *Flanſtead*, & qui ont été trouvées plus exactes que toutes celles qu'on avoit fait juſqu'à préſent, l'ont rendu des plus fameux ; & quels avantages n'en devons-nous point attendre aujourd'hui, qu'il eſt confié aux ſoins du Docteur *Bradley*, qui n'eſt pas moins recommandable par l'exactitude ſinguliere de ſes obſervations, que par ſa complaiſance pour les com-

muniquer à tous ceux qui en peuvent faire uſage.

La réputation de Mr. Robins étant appuyée ſur des fondements inébranlables, comme ni le peu de cas qu'il faiſoit de la fortune qui ne l'avoit jamais abandonné, ni la probité inflexible qui dirigeoit toutes ſes actions ne pouvoient lui permettre d'approuver jamais les injuſtices d'une faction ſi oppoſée à ſon amour pour la patrie, & comme il étoit cependant impoſſible d'empêcher déſormais l'avancement d'un auſſi grand homme, on lui propoſa de choiſir entre deux emplois les plus conſidérables. Le prémier étoit celui de Commiſſaire à Paris pour fixer les limites d'Acady; & le ſecond celui d'Ingénieur général de la Compagnie des Indes Orientales, dont les Forts étoient dans un état déplorable, & exigeoient, pour être rétablis, la préſence d'un homme ſavant & profond dans ce genre. Cet emploi-ci étant plus conforme à ſon goût, Mr. Robins l'accepta, ſe flattant de pouvoir dans cette occaſion rendre à la patrie un véritable ſervice, parce que dans l'exécution de ſes entrepriſes, il ne trouve-

roit point de ces gens ignorants & à projets, qui par les louanges qu'ils ſe donnent eux-mêmes dans l'occaſion, s'inſinuent dans les affaires publiques, & ſouvent font avorter les projets les mieux concertés. La Compagnie lui fit les plus grands avantages; elle lui accorda cinq cents louis de penſion viagere, à condition que pendant cinq ans il exerceroit l'emploi qui lui étoit confié : on lui laiſſa la liberté de choiſir ceux qui devoient être employés ſous lui, &, ce qui n'étoit jamais arrivé, on lui permit de demander toutes les ſommes qu'il jugeroit néceſſaires pour conduire les ouvrages qu'il alloit entreprendre : telle étoit la confiance qu'avoit la Compagnie, & dans la probité, & dans l'habileté de Mr. Robins; elle ne ſe trompoit pas ſûrement, car dans toutes les occaſions Mr. Robins avoit donné des preuves de ſa généroſité & de ſon déſintéreſſement, & jamais il n'avoit rien entrepris qu'il ne fût en état d'exécuter d'une maniere ſupérieure : il s'étoit propoſé, s'il fût reſté en Angleterre, de donner la ſeconde partie des voyages autour

du monde, ainſi qu'on peut le voir par la lettre ſuivante de Mylord Anſon à Mr. Robins, datée de Bath, le 22 Octobre 1749 :

*MON CHER MONSIEUR,*

*La derniere fois que je vous ai vu à Londres, j'oubliai de vous demander ſi vous étiez dans l'intention, avant de nous quitter, de publier la ſeconde partie de mon voyage autour du monde. Je vous l'avoue ſincérement, je ſuis fâché de ce contre-temps ; & ſi vous avez réſolu de ne plus favoriſer le monde de quelqu'une de vos productions, il y perdra beaucoup ; mais perſonne n'y ſera plus ſenſible, Monſieur, que votre très-obligé & humble ſerviteur, ANSON.*

*Si vous prévoyez le temps de votre départ, ne me le laiſſez pas ignorer.*

C'eſt du conſentement du Lord Anſon, que cette lettre fut imprimée, car lorſqu'on le pria de vouloir bien permettre qu'on donnât au Public ce témoignage de ſon eſtime pour Mr. Robins, il y répondit obligeamment, *que de tout ce qui étoit en ſon pouvoir, il n'avoit rien*

*à refuſer à la mémoire d'un ſi grand homme, qui avoit rendu au Public les ſervices les plus importants.*

Mr. Robins avoit formé le deſſein de donner une nouvelle édition de ſes principes de Mathématiques, beaucoup plus étendue que la premiere ; il y devoit même ajouter la partie géométrique, comme je l'ai vu par quelques Mémoires qu'il a laiſſé. J'y ai même reconnu qu'il avoit fait quelques obſervations ſur la lune.

Avant de partir, il fit proviſion d'inſtruments aſtronomiques, & de pluſieurs autres pour faire dans l'Inde des obſervations & des expériences ; & il s'embarqua à Noël l'année 1749. Tous ceux qui le connoiſſoient furent fort affligés de ſon départ, ils tâchoient néanmoins de s'en conſoler, à la vue des avantages que le Public alloit retirer de la poſition où il ſe trouvoit, & par l'eſpoir de le voir un jour revenir dans ſa patrie plein de ſanté, & comblé d'honneur & de gloire. Mr. Robins ne fut pas moins ſenſiblement touché de quitter ſes amis, avec pluſieurs deſquels il avoit eu les plus étroites liaiſons

depuis

depuis qu'il étoit arrivé dans Londres.

Son vaiſſeau faillit à périr dans le voyage, cependant il arriva aſſez heureuſement aux Indes le 13 Juillet 1750: dès ſon arrivée, il commença ſes travaux avec une ardeur infatigable, & il dreſſa des plans complets pour les forts S. David & Madras; mais il n'eut pas le temps de les mettre en exécution. Son tempérament qui, quoiqu'il n'eût juſques-là point fait de maladie conſidérable, étoit foible & délicat, ne put réſiſter au changement de climat.

Au mois de Septembre 1750, il fut attaqué d'une fievre dont il ſe remit; mais huit mois après, il tomba dans un état de langueur où il demeura juſqu'à ſa mort: lorſqu'il vit que ſon terme approchoit, & qu'il ne devoit plus avoir d'eſpérance d'en réchapper, il témoigna à ſes Médecins qu'il étoit fâché de n'avoir pas été inſtruit plutôt de ſon dépériſſement, parce qu'il n'eût pas perdu un temps précieux dans la vaine attente de ſa guériſon, & il ſe mit auſſi-tôt à recommencer ſes travaux ſans plus s'inquiéter de ſa maladie; enfin il expira la plume à la main au fort

St. David, le 19 Juillet 1751, lorſqu'il compoſoit un Mémoire concernant la ſituation des affaires de la Compagnie.

On a depuis achevé les fortifications du fort St. David, & on conſtruiſit celle de Madras, ſuivant le plan qu'en avoit donné Mr. Robins ; j'en ai entendu parler avec les plus grands éloges, par des perſonnes bien en état d'en juger ; & ce qui eſt plus encore, elles ont mérité l'approbation du célebre Colonel Clive, qui par la ſeule force de ſon génie s'eſt formé, s'eſt inſtruit dans l'art de commander les armées, & qui par ſa valeur & ſa conduite admirable a rétabli dans cette partie du monde nos affaires qui y étoient en ſi mauvais état.

Lorſqu'on apporta ici la nouvelle de la mort de Mr. Robins, non-ſeulement ſes amis ; mais encore tous ceux qui le connoiſſoient, furent vivement touchés de la perte d'un ſi grand homme, & à la lecture de ſa lettre devant la cour des Directeurs de la Compagnie des Indes orientales, on vit la douleur peinte ſur les viſages de tous ceux qui étoient préſents. Le mérite de Mr. Robins, & les ſervices qu'il avoit ren-

du à la Compagnie pendant le peu de temps qu'il avoit exercé ſon emploi, firent que les Directeurs uſerent envers ſon pere de la plus grande généroſité.

Sa réputation s'eſt établie dans les Indes mêmes, quoiqu'il y eût demeuré ſi peu de temps, & j'ai oui dire à des perſonnes qui en venoient, que tous ceux de quelque état & condition qu'ils fuſſent, y avoient pour ſa mémoire la plus haute vénération ; eſt-il étonnant qu'on ait accordé l'eſtime univerſelle à un homme qui poſſédoit ſi bien toutes les différentes Sciences utiles, qui étoit ſi habile dans la théorie & la pratique des arts néceſſaires, ſi porté à communiquer ſes connoiſſances aux auteurs, ſi plein de candeur, de généroſité, de déſintéreſſement: ajoutez même, parlant avec lui dans les ſociétés, l'agrément & la vivacité qui faiſoient ſon caractere?

Je ne dois point paſſer ſous ſilence les ſoins qu'il prit de pourvoir aux néceſſités de ſon pere déja avancé en âge; il fonda pour lui des revenus conſidérables, qui devoient lui être payés pendant ſa vie, qu'il termina à Bath en

1758, il avoit toujours joui d'une parfaite ſanté, & n'eut jamais d'autres chagrins que la perte d'un fils, dont la réputation & l'amour conſtant qu'il eut pour lui, faiſoient la principale conſolation de ſa vieilleſſe.

Mr. Robins par ſon teſtament laiſſa à ſon ami intime, Martin Folke, Ecuyer, & Préſident de la Société royale, ainſi qu'à moi, le ſoin de faire imprimer ſes ouvrages; mais comme Mr. Folke ne pouvoit y travailler à cauſe d'une attaque d'apoplexie, dont il eſt mort, il n'y a pas longtemps, les papiers de Mr. Robins me furent remis par Mr. Thomas Lewis ſon exécuteur teſtamentaire.

Je ne puis m'empêcher de témoigner mon admiration pour cette amitié ſans réſerve, que Mr. Lewis eut toujours pour Mr. Robins, dont le mérite l'avoit ſi bien attaché, que ni les temps, ni l'abſence ne purent porter atteinte à cette haute eſtime qu'il avoit conçue pour lui; ſon amitié s'eſt étendue même au delà du tombeau, & par la bienveillance qu'il a eu pour le pere, il a bien témoigné ſa tendreſſe pour le fils.

Les ouvrages de Mr. Robins qu'on m'a remis étoient contenus en un volume écrit en beaux caracteres, & dans lequel ſe trouvoient pluſieurs diſcours détachés concernant l'Artillerie.

Ils ſont compris dans le premier volume des Traités ſuivants, depuis la p. 175 juſqu'à la p. 315, la plupart avoient été lus en préſence de la Société royale, pendant le temps que l'auteur étoit encore en Angleterre; quant à celui qui eſt intitulé: *Comparaiſon des expériences faites ſur les amplitudes du Canon, &c.* p. 230, il nous fut envoyé ici du fort S. David, peu de temps après qu'il ſe fut remis de ſa premiere maladie; il fut préſenté à la Société royale le 27 Juin 1751, & dans la lettre qu'il y avoit joint, & qui étoit datée du 16 Octobre 1750, il s'adreſſoit en ces termes au premier Préſident: *le Diſcours que je vous envoie, joint à un autre que je compte pouvoir mettre au jour le printemps prochain, ſera pour le temps préſent, mon dernier ouvrage concernant l'Artillerie; & je réſerve à des temps plus éloignés le ſoin d'augmenter cette collection, ſoit en Europe, ſoit dans ce*

*pays-ci.* J'imagine que cet autre Diſcours, dont il parle, regarde auſſi la pratique, & que la copie qu'il en promet eſt un manuſcrit qui m'a été remis, & qui eût été ſans doute plus complet qu'il n'eſt, ſi Mr. Robins eût vécu plus long-temps, car outre les notes qu'il y a inſérées, on y trouve encore des eſpaces vuides, qu'il s'étoit ſans doute propoſé de remplir par de nouvelles notes; mais la mort a rompu ſes projets.

Pluſieurs perſonnes ſe trouvent avoir entre les mains des copies *des Maximes pratiquës*, qui n'ont point été lues devant les Membres de la Société royale; j'ai comparé celle que j'ai avec deux autres, dont l'une m'a été procurée par Mr. Glover, & l'autre par Mr. Nourſe qui l'avoit eue il y a quelque temps de Mr. Muler; & j'y ai trouvé des differences très-conſidérables. Le premier volume des ouvrages de Mr. Robins, contient auſſi ſes Nouveaux principes d'Artillerie, tels qu'il les avoit fait imprimer, avec le rapport qui en fut fait dans les Tranſactions philoſophiques. Quant aux additions qu'il devoit faire, on ne ſait ce qu'elles ſont

devenues. J'y ai joint un extrait ou deux de ſes feuilles & papiers détachés, ainſi que ſon Diſcours ſur la hauteur, à laquelle s'élevent les fuſées volantes; j'y ai même inſéré un autre Diſcours ſur le même ſujet, compoſé par Mr. Jean Ellicot, l'un de ſes amis, Membre de la Société royale, & Horloger de Sa Majeſté. C'eſt un artiſte ingénieux, dont les inventions dans les arts méchaniques, & les talents pour conſtruire les machines propres à meſurer les temps ſe ſont fait admirer, non-ſeulement dans ſa patrie; mais encore chez les nations voiſines.

Le Diſcours ſur la nature & l'utilité des canons rayés ne m'ayant été communiqué, que lorſque l'impreſſion du premier volume étoit preſque achevée, j'ai été contraint de le mettre à la fin de ce volume, quoique ce ne fût gueres là ſa place.

Le ſecond volume contient différents Traités, qui avoient déja été mis au jour par Mr. Robins, & dont on a déja parlé dans cette Préface.

Mr. Robins, (comme je l'ai appris par une lettre d'une perſonne très-

recommandable, écrite de la Haye à Mylord Anſon, & datée du 13 Août 1747), devoit faire la collection de tous ſes Diſcours qui avoient été lus en préſence de la Société royale, & devoit dédier ce Recueil au Prince d'Orange, qui avoit témoigné avoir pour lui la plus haute eſtime ; il avoit traité, comme je l'ai déja dit, la partie géométrique de ſes Nouveaux principes d'Artillerie, il avoit même fait ſes recherches, ſur les effets de la réſiſtance de l'air, pour diriger la conſtruction des vaiſſeaux, & leurs manœuvres ſur mer ; mais il emporta avec lui tout ce qu'il pouvoit avoir écrit ſur ce ſujet, & ſur d'autres non moins curieux & utiles, & depuis ſa mort, quelques ſoins que je me ſois donnés, & quelque diligence que j'aie pu faire, mes recherches ont été infructueuſes.

JACQUES WILSON.

*A Londres, ce 20 Mai 1761.*

# PRÉFACE

## DE M. ROBINS.

IL y a près d'une année que j'avois formé le deſſein de donner un cours de Fortifications & d'Artillerie ; mais j'avois renoncé à cette entrepriſe pour des raiſons qu'il ſeroit inutile de rapporter ici ; cependant comme je communiquai à différentes perſonnes quelques manuſcrits ſur ce ſujet, je me vis en quelque ſorte forcé de reprendre l'ouvrage que j'avois abandonné : mon deſſein étant de rendre ce Traité auſſi complet qu'il ſeroit poſſible, & d'y propoſer pour exemple, quantité de plans de fortifications, & de leurs attaques, avec des expériences ſur l'Artillerie, j'ai cru devoir commencer par donner une théorie ſur la force de la poudre à canon, & quelques propoſitions concernant la réſiſtance de l'air que j'ai découvertes & confir-

mées par l'expérience. Comme dans les plans & projets que je donne, je n'avance ces principes que comme des aſſertions ſeulement, & ſans rapporter les expériences que j'ai faites dans la ſuite pour les appuyer, d'autant mieux qu'elles étoient ſujettes à de grandes conteſtations, en ce qu'elles ne s'accordoient gueres avec les opinions déjà reçues, j'ai penſé qu'il étoit de mon devoir d'éclaircir d'une maniere plus détaillée toutes les difficultés qui pouvoient ſe préſenter, & de prouver la certitude de mes principes, par nombre d'expériences les plus convaincantes; & c'eſt en quelque ſorte pour cette ſeule raiſon que j'ai compoſé le Traité ſuivant, où ſont déterminées la force & les actions variées de la poudre : en ſuivant les mêmes principes j'y détermine la vîteſſe avec laquelle le boulet eſt pouſſé par l'explosion, & la réſiſtance même que l'air oppoſe à la rapidité de ſon mouvement, ( cette théorie eſt portée beaucoup plus loin, qu'elle ne l'avoit été juſqu'aujourd'hui ) je fais voir combien le chemin qu'il parcourt étant chaſſé

par une charge ordinaire de poudre, eſt différent de celui qu'on avoit juſqu'à préſent ſuppoſé qu'il parcouroit.

Comme dans les pages ſuivantes, toutes mes recherches ont rapport à la force de la poudre, & à la vîteſſe des bombes & boulets, le lecteur ne ſera pas fâché d'être inſtruit de quelques particularités concernant l'invention de la poudre, ainſi que l'hiſtoire des progrès de l'Artillerie & des fortifications. Ce que nous dirons dans la ſuite en recevra même quelque éclairciſſement, par la comparaiſon qu'on pourra faire des nouveaux principes avec ceux qu'on admettoit autrefois : & quoique dans mes recherches, je n'euſſe jamais eu d'autre but que la perfection de l'Artillerie, néanmoins l'art des fortifications eſt ſi étroitement lié avec l'invention & la conduite de l'Artillerie, qu'il ne ſera pas, je crois, hors de place de donner ici un précis de l'hiſtoire de l'Architecture militaire, avant de commencer les calculs néceſſaires pour diriger avec avantage ces machines formidables qui lui ont donné naiſſance.

On ne ſait pas bien ni en quels temps,

ni en quels lieux furent élevés les premiers baſtions ; & les auteurs qui ont écrit ſur ce ſujet ſont preſque tous de ſentiments différents : quelques-uns en ont attribué l'invention à Ziſca le Bohémien, d'autres à Achmet-Baſſa, lequel ayant pris Otranto en 1480, le fortifia, & l'entoura de baſtions ; (*a*) mais ce ne ſont que des ſuppoſitions qu'ont fait les écrivains modernes; ceux qui ont écrit ſur la fortification, il y a près de deux ſiecles, veulent que l'uſage des baſtions ſoit venu par degré de l'ancienne méthode de fortifier les villes, & que la gloire n'en ſoit due à aucun inventeur. *Paſino* entr'autres, dans la premiere partie de ſon livre, regarde l'invention de l'Artillerie, comme la ſeule cauſe du changement qui s'eſt fait dans la fortification, ſans que cette innovation fût introduite par nul homme en particulier en aucun temps marqué. (*b*) Nous ne connoiſſons donc point préciſément l'origine des baſtions ; nous obſerverons ſeulement que l'uſage en étoit déja connu vers

*Nota.* Les Notes ſont dans leur ordre à la fin de la Préface de M. Robins.

l'année 1500 : car Tartalea, dans ſes recherches & inventions publiées en 1546, fait mention dans le 6e. livre, de baſtions d'une grandeur prodigieuſe qu'il avoit vu, les uns finis & les autres ſeulement commencés, dans le temps qu'il demeuroit à Véronne, ce qui ſans doute, étoit pluſieurs années auparavant ; il donne même dans ce livre le plan de Turin, qui étoit fortifié par quatre baſtions, & il paroît qu'ils avoient été conſtruits bien long-temps avant le temps où il écrivoit.

Je crois cependant que le temps auquel les tours rondes furent converties en baſtions, n'eſt pas fort éloigné de l'époque que nous venons de citer. Car dans le même livre, le Prieur *de Barleta*, qui étoit cependant un guerrier, regarde Turin comme une ville imprenable, & donne ſon ſentiment, comme celui de tous les habiles gens ; il va même juſqu'à croire que dans ſon ſiecle, la fortification étoit parvenue au plus haut point de perfection : ce qui prouve aſſez que cette invention étoit toute récente, & que cet objet occupoit alors les eſprits, comme comme ſont d'ordinaire toutes les nouveautés.

Les premiers baſtions, tels que ceux de Turin, & d'Anvers,(c) étoient petits & fort éloignés les uns des autres ; car dans ce temps on commençoit toujours l'attaque par la courtine, & non par les baſtions. Quelques années après on conſtruiſit des baſtions plus conſidérables, & beaucoup plus rapprochés les uns des autres, comme il paroît par la citadelle d'Anvers, qui fut bâtie ſous la direction du Duc d'Alva, environ en 1566, & qui, ſelon quelques auteurs, ſemble être le premier exemple de ſes progrès.

C'eſt donc vers ce temps que vraiſemblablement doit être placé l'origine de la fortification, les méthodes qu'on ſuivoit alors n'étant plus obſervées depuis les progrès rapides qu'a fait cet art. Car bientôt après l'époque que nous avons citée, il parut quantité de célebres auteurs, comme les (d) *la Treille*, *Alghiſi*, *Marchi*, *Paſino*, & ſur-tout *Spekle* (e), l'un des plus grands génies qui aient traité ce même objet.

Pour mieux juger du mérite des nouveaux ſyſtêmes de fortifications, il eſt bon d'entrer dans un détail abrégé

des différentes méthodes propoſées pour couvrir les flancs, & mettre le rempart à couvert des approches de l'ennemi. Car ſi l'on tombe d'accord que les flancs ſont les principales défenſes d'une fortereſſe, il faut pour juger d'un ſyſtême de fortification, examiner s'ils ſont en ſûreté contre les efforts de l'ennemi.

Les ouvrages les plus ordinaires qu'on emploie pour cet objet ſont des orillons, des ravelins, des tenailles placées devant les courtines, des contre-gardes conſtruites devant les pointes des baſtions. L'origine de l'orillon eſt auſſi ancienne que celle du baſtion ; puiſqu'à Anvers & à Turin, il y avoit un flanc aſſez bas, taillé dans l'épaiſſeur du baſtion, dont il étoit épaulé, & d'une épaiſſeur aſſez conſidérable pour le mettre à couvert des pieces de campagne. Outre cela dans les plans de Paſino, Spekle, &c. on trouve quantité d'orillons de la même forme que ceux dont on fait aujourd'hui uſage. Toute la différence qu'il y a, c'eſt que les modernes ſont beaucoup moins épais que les anciens. On en a fait entrer dans tous les ſyſtêmes les plus eſtimés, plutôt à cauſe des

avantages qu'on en a retiré autrefois, que de ceux qu'on en retire aujourd'hui. Car comme dans les anciens ſieges, on avoit coutume de bâtir un retranchement derriere la breche, les aſſiégeants étoient obligés de ſe loger ſur les ruines du baſtion pour battre le retranchement. Dans ce cas les pieces d'Artillerie étant couvertes par l'orillon ne pouvoient être démontées, & étoient d'un grand ſecours pour les aſſiégés. On pourroit rapporter pour exemples, pluſieurs occaſions où l'ennemi après s'être logé ſur la breche, avoit été par ce moyen forcé de ſe retirer. Mais il eſt rare maintenant que le foſſé étant rempli on commence par l'attaque de l'orillon.

Les ravelins ſont placés devant la courtine (dans les ſyſtêmes modernes on les appelle demi-lunes.) Ils furent inventés pour protéger les flancs, les mettre à couvert du feu des ennemis, & ſervir de défenſe contre les batteries qu'on éléveroit vis-à-vis la contr'eſcarpe, pour battre les flancs qui ſeroient alors trop expoſés pour pouvoir ſe ſoutenir long-temps. L'invention en eſt auſſi

ancienne

ancienne que la fortification même, comme on le peut voir dans les plans & les ouvrages des anciens auteurs. Cet ouvrage eſt encore en uſage chez les modernes. Quoique le but des anciens eût été de couvrir les flancs par les ravelins, ils en croyoient encore tirer un autre avantage, c'eſt que les batteries des ennemis ne pourroient battre les flancs que par un ſeul endroit. Cependant quelque temps après ils reconnurent qu'il reſtoit encore à l'ennemi un eſpace aſſez grand pour dreſſer ſes contre-batteries (cet eſpace ſe trouve entre la face & la gorge de la demi-lune) en conſéquence ils éleverent une demi-lune pour couvrir l'angle flanqué du baſtion : cette demi-lune s'appelle contre-garde ; ſon objet étoit de couvrir le terrein, où les ennemis pouvoient encore établir leurs batteries contre les flancs. Ils eſpéroient par-là en empêchant l'ennemi de découvrir les flancs, de rendre encore plus difficile la conſtruction de leurs batteries. Mais comme ces demi-lunes ne rempliſſoient pas bien l'objet pour lequel on les avoit conſtruites, on n'en

fait plus uſage depuis long-temps.

Le but des contre-gardes (*f*) qui ſont auſſi fort anciennes, eſt le même que celui des demi-lunes dont nous venons de parler ; elles ſont auſſi placées pour protéger les flancs, & ſi elles ſont bien conſtruites, elles ſont d'une grande utilité, car ſi l'ennemi veut ruiner les flancs, ou établir ſes batteries ſur la contre-garde, même lorſqu'elle ſera bien de profil, il ne pourra le faire, à moins de démolir une partie de la contre-garde, pour s'établir ſur la contr'eſcarpe au devant du flanc, ce qui ſeroit un ouvrage bien long, & bien difficile. Ils trouveront encore les mêmes difficultés, s'ils veulent battre en breche.

Malgré les avantages qu'on peut retirer des contre-gardes, preſque tous les François dans leurs ſyſtêmes modernes n'en font aucun uſage. Il ſe trouve à peine chez eux deux ou trois places fortifiées qui aient de pareils ouvrages, & leurs ſyſtêmes n'ont rien de commun que le nom avec ceux dont nous parlons ici. Cependant les avantages que Turin en retira dans ſon ſiege, leur en ont fait prendre une idée plus favo-

rable, & derniérement je les ai vu ajouter des contre-gardes aux fortifications d'une place, qui ci-devant paſſoit pour être des plus complettes.

Il paroît par ce que nous venons de dire que le principal objet des anciens étoit de bien couvrir les flancs, à quoi les modernes ne ſe ſont pas ſi appliqués, & par conſéquent, ils n'ont gueres perfectionnés l'art de la fortification, quoi qu'en diſent quelques auteurs qui veulent nous perſuader le contraire. En effet, c'eſt dans la force de ſes flancs que conſiſte celle d'une fortereſſe, que les autres défenſes ſoient ruinées par les batteries de l'ennemi, tant que les flancs ſubſiſteront le rempart de la place ne peut être approché par l'ennemi ; & puiſqu'un point ſi intéreſſant a été négligé par la plupart des modernes, il faut avouer qu'ils n'ont pas bien ſaiſis les vrais principes de cet art. Leurs ſentiments ne varient entr'eux que ſur la longueur des flancs, les faces des baſtions, & l'angle qu'ils leur faut donner ; ils ont tous oublié ce qu'il y avoit de plus important, qui étoit de bien couvrir

les flancs pour les mettre à l'abri des batteries de l'ennemi.

Cette négligence doit s'attribuer principalement à ces fauſſes maximes, telles, par exemple, que celle-ci : *tout ce qui eſt vu doit être vu.* (*g*) D'où l'on conclu que ſi l'ennemi peut appercevoir les flancs, il les peut ruiner avec ſes batteries. Mais il eſt bien facile de faire voir combien ce raiſonnement eſt abſurde. En effet, ſi le flanc eſt bien couvert, il ne peut être vu par l'ennemi dans cette ſituation, à moins qu'il n'élevât ſes batteries. Il n'eſt à découvert, que lorſque l'ennemi parvenu dans la place ſe trouve expoſé à tout ſon feu qui eſt capable de le déloger du chemin couvert. Par exemple, une piece de canon couverte par l'orillon ſuivant la coutume ordinaire ne peut être vue de l'ennemi que lorſqu'il a paſſé une partie du foſſé, ou qu'il monte la breche, & dans ces deux cas, ils ne peuvent dreſſer des contre-batteries. Il s'enſuit donc que plus on aura ſoin de bien couvrir les flancs, plus grand ſera l'eſpace où l'ennemi ſe trouvera ainſi expoſé. D'autres Ingénieurs ont

tâché de rabaiſſer le mérite de cet art, & ſe ſont étendus ſur l'infaillibilité de la méthode moderne d'attaquer les places. Ils ont aſſuré qu'aucune place, quelque forte qu'elle fût, ne pourroit tenir devant eux. Leur maxime, c'eſt que lorſque la contr'eſcarpe eſt une fois perdue, tout le reſte n'eſt plus rien ; & ce qui le leur fait croire, c'eſt l'exemple de pluſieurs places réduites en moins de temps qu'on ne s'y étoit attendu.

Si cela étoit, l'argent immenſe que coûtent les fortifications ſeroit très-mal employé, puiſqu'un ſimple rempart & une contr'eſcarpe rempliroient pleinement le but qu'on ſe propoſe ; mais la vérité eſt que lorſqu'une place eſt bien fortifiée, bien défendue alors la perte de la contr'eſcarpe eſt peu de choſe, & ne peut entraîner la priſe de la ville. (*h*) Il eſt ſûr que la témérité & la précipitation des approches de l'ennemi, ont ſouvent intimidées un lâche Gouverneur ; mais lorſque l'attaque eſt vivement pouſſée & que la place eſt commandée par un brave & vaillant officier, la priſe de ces différents ouvrages a été ſouvent pour les

aſſiégeants une démarche haſardée, & un exemple fatal d'imprudence. Pour trop précipiter les choſes, on a ſouvent été obligé d'abandonner ſon entrepriſe, & l'envie de gagner un ou deux jours a ſouvent fait manquer la priſe d'une place. (*i*)

Outre les ouvrages dont nous venons de parler & dont l'objet eſt de couvrir les flancs, on en a ſouvent propoſé d'autres de différentes eſpeces, qui à raiſon de leur ſingularité n'ont point été reçus. L'un d'entr'eux ſe conſtruit ſuivant une ligne tirée de l'angle flanqué du baſtion, à l'angle oppoſé, de la contreſcarpe. Le général Montecuculli en fait mention dans ſes Mémoires, comme d'une méthode de fortification beaucoup moins ſujette à exceptions qu'il ne paroît d'abord (*k*) à la premiere vue. Mais quoiqu'un ouvrage ainſi conſtruit mette les flancs à l'abri des batteries de l'ennemi placée à l'oppoſite de la contreſcarpe, & qu'il ſoit aſſez facile de le défendre juſqu'a préſent, cependant on n'en a point fait uſage.

Une autre maniere d'aſſurer les flancs, c'eſt de placer l'angle rentrant de la

contr'eſcarpe entr'eux, & les contre-batteries. Errard de Bar-le-Duc (*l*) eſt celui qui nous enſeigne dans ſes ouvrages cette méthode, qu'il dit être de l'invention du Comte de Linar; & quoique pluſieurs auteurs, qui ne connoiſſoient pas tout le parti qu'on en pouvoit tirer, ne l'aient point approuvé, parce que, diſent-ils, par la conſtruction de ces ouvrages, il y auroit une grande partie du foſſé que les flancs ne pourroient appercevoir, ce qui eſt très-vrai; néanmoins de grands génies, qui ont fait de cet art une étude particuliere, en ont bien reconnu tous les avantages, & c'eſt par ce moyen que ſont couverts les flancs de la célebre forteresſe de Berg-Op-Zoom.

Mais dans un bon terrein, il y a une méthode de ſe défendre bien meilleure que toutes celles dont nous venons de parler, c'eſt l'uſage des contremines. Car en ſuppoſant les fortifications d'une place conſtruite de maniere que l'ennemi ſoit obligé de mener ſes batteries ſur le glacis, quand il ſe propoſe de battre en breche pour ruiner le flanc (ce qui arrivera toujours ſi on

place ſeulement) un bon profil, ou un ravelin devant la courtine; alors ſi le terrein eſt deſſeché à une certaine profondeur, les aſſiégés pourront toujours par des mines ruiner les batteries de l'ennemi, ce qu'ils pourront répéter un certain nombre de fois ſuivant la grandeur du terrein; car par la ſuppoſition les batteries ennemies ne pouvant avoir qu'une ſeule ſituation, les aſſiégés peuvent toujours d'avance préparer leurs mines, & ils auront le plus grand avantage contre l'ennemi s'il tâche de les ſéparer, ce qui dans ces circonſtances devient ſa ſeule reſſource.

Ce fut dans le royaume de Naples qu'on fit pour la premiere fois uſage des mines, dans un ſiege. Par leur ſecours Pierre de Navarre fit priſonniere une forte garniſon de François. Quant aux mines des aſſiégés pour arrêter les progrès de l'ennemi, ce fut en 1666, 67, 68, qu'on s'en ſervit au ſiege de Candie pour la premiere fois; il eſt cependant vraiſemblable qu'on les avoit déja employées auparavant; mais dans des occaſions moins remarquables. Ce fut principalement par le ſecours de

cette invention que Candie ſe ſoutint pendant trois ans conſécutifs contre tous les efforts de l'Empire Ottoman. Depuis ce temps on reconnut l'utilité d'une telle invention ; & nous avons eu derniérement au ſiege de Turin en 1706, un grand exemple des avantages qu'on en retire. Les aſſiégeants en furent tellement traverſés dans leurs entrepriſes, qu'après quatre mois de tranchée ouverte, ils n'étoient encore maîtres que de la contr'eſcarpe, & même la onzieme de leurs pieces de canon fut jettée en l'air par une mine, trois ou quatre jours avant que la place fut ſecourue.

Avant de finir ſur ce ſujet, je ne puis m'empêcher de rendre juſtice à l'excellence de la méthode pour la conduite des mines, qui ſe trouve dans une Diſſertation (*m*) jointe au troiſieme volume du Polybe françois : les étages de mines ne peuvent mieux être diſtribués qu'ils y ſont ; & la maniere de procéder dans l'exécution, ne peut être plus rigoureuſe que celle que donne cet auteur. Les exceptions qu'elle peut avoir ne ſont rien par rapport à l'arrangement des chambres qui ſont

extrêmement bien ordonnées, & le terrein y eſt ménagé de maniere à faire le plus grand dommage poſſible à l'ennemi.

Quoique j'aie fait remarquer les défauts des auteurs modernes ou de leurs imitateurs, je ne reconnois pas moins tout le mérite de quelques-uns d'entr'eux, par exemple du grand Coehoorn qui a été ſûrement dans l'art des fortifications le plus grand génie qui ait jamais paru. Il a compoſé deux Traités ſur ce ſujet. Dans le premier, il donne une méthode pour fortifier un pentagone, & il y joint un projet de fortification pour Coevoerden. Dans le ſecond il propoſe trois différentes manieres de fortifier, l'une pour l'exagone, l'autre pour l'eptagone, & la troiſieme pour l'octogone. Il apprend même la méthode de fortifier une place ſituée ſur le bord d'une riviere. Il parcourt enſuite toutes les différentes manieres d'attaquer les places fortifiées ſuivant ſes méthodes, afin de faire voir l'avantage qu'on en retire. De ſorte que ſon ouvrage peut être auſſi-bien regardé comme un Diſcours ſur l'attaque & la défenſe des places,

que comme un ſyſtême de fortification. Quoiqu'il en ſoit c'eſt le meilleur ouvrage qui ait encore paru ſur ce ſujet. L'auteur a écrit en Hollandois, (ſa langue naturelle) & nous n'en avons que d'aſſez mauvaiſes traductions tant en Anglois qu'en François. Quoique dans une nouvelle traduction françoiſe, on ait corrigé la plupart des erreurs de la premiere, & que pluſieurs endroits aient été éclaircis par des notes du traducteur, qui ſemble avoir aſſez bien compris cet ouvrage. Du vivant de l'auteur ſon ouvrage ne lui avoit pas acquis la réputation qu'il eût dû en attendre; les Ingénieurs ſes contemporains, toujours attachés à leurs vieilles routines, le regardoient comme un ignorant, & un homme plein d'orgueil qui ne cherchoit qu'à ſe diſtinguer. Mais enfin malgré l'envie, ſon mérite fut reconnu par la vigoureuſe réſiſtance qu'il fit dans le fort Guillaume à Namur, lorſque cette place fut aſſiégée par les François. Depuis ce temps il s'éleva rapidement aux plus hauts grades militaires. Le ſiege de Namur immortaliſa ſa mémoire ſous Guillaume III,

de même que les ſieges de Boulinbourg, &c. ſa mort qui arriva au commencement de la derniere guerre de Flandre, fut une grande perte pour les alliés. Les ſieges qu'ils formerent après l'année 1707 en furent une triſte preuve. Non-ſeulement on lui confia la conduite des ſieges, mais encore il fut employé à répater les fortifications des places frontieres de Hollande. Son dernier ouvrage eſt Berg-Op-Zoom, il n'eut pas le temps de l'achever, mais ce qu'il en a laiſſé ſuffit pour éterniſer à jamais ſa mémoire. Cependant bien des militaires ont trouvé des imperfections dans les fortifications de cette place; mais tout bien conſidéré j'ai reconnu que dans ces jugements il entroit beaucoup de partialité. Car ce qu'ils ont déſapprouvé ſe trouve préciſément être les ouvrages qui ſont ſuſceptibles de la plus grande défenſe. Il eſt difficile d'expliquer pourquoi on a ſi peu priſé de ſon temps les écrits de ce Général. Les ſervices ſignalés qu'il a rendu, la grande réputation qu'il s'eſt acquiſe devroient le mettre à couvert de cette injuſtice. Je crois que cela ne peut venir que de l'in-

clination que nous avons toujours montrée pour les opinions reçues chez les François, qui jamais n'ont rendu juſtice au mérite des étrangers, ſur-tout lorſqu'ils ſe trouvent engagés dans des intérêts oppoſés aux leurs. Cette eſpece de jalouſie ſemble cependant s'éteindre de jour en jour, car depuis peu on travaille à fortifier une des principales villes frontieres de France ſuivant les ſyſtêmes de Coehoorn.

Quoique je ne connoiſſe aucun écrivain moderne qui puiſſe être mis en parallele avec l'auteur que je viens de citer, cependant Mrs. de Vauban & Goulon méritent les plus grands éloges. Mr. Goulon a fait pour la partie de l'attaque & de la défenſe des places un Traité intitulé : *Mémoire ſur l'attaque & la défenſe des Places*, fort eſtimé par tous les connoiſſeurs, & Mr. le Maréchal de Vauban préſenta au feu Roi de France un manuſcrit qui, bientôt après fut imprimé en Hollande. Cet ouvrage traite de l'attaque. Il y a renfermé auſſi de nouvelles découvertes, telles que les batteries à ricochet, les paralleles, & ſa

conduite particuliere de la ſape. On doit convenir que cet ouvrage eſt une production digne de l'expérience & de la capacité de ce grand homme. On s'attendroit peut être à voir ranger dans la liſte des auteurs les plus recommandables par l'art de défendre des places celui que je viens de citer, cependant malgré la haute idée que je me ſuis formée de lui, je ne puis me réſoudre à le comparer à ſon contemporain Coehoorn. J'obſerverai cependant qu'il l'emporte beaucoup ſur ce dernier dans l'art des attaques.

Ce que je viens de dire ſur l'origine & les progrès de l'architecture militaire peut ſuffire pour en donner une légere idée. Il eſt temps de traiter une partie qui a un rapport plus immédiat avec le Traité ſuivant, je veux dire l'invention de la poudre à canon, les théories qui lui ont donné naiſſance & ſes progrès; on attribue communément l'invention de la poudre à un Moine Allemand appelle *Bartholdus Schwartz*, qui en fit la découverte à peu près vers l'année 1320, & on croit que ce ſont les Vénitiens qui en firent uſage les premiers

dans une guerre qu'ils avoient pour lors contre les Génois en 1380, mais ces deux ſuppoſitions ſont indubitablement fauſſes. Roger Bacon parle d'une compoſition ſemblable à ce que nous appellons poudre, comme d'une choſe fort connue de ſon temps ; & il vivoit près de 50 ans avant *Schwartz ;* ce qui eſt une preuve bien indubitable que l'uſage de la poudre étoit de beaucoup antérieur à l'année 1320, au ſurplus l'époque de la découverte du ſalpêtre eſt incertaine, & comme elle eſt fort analogue avec celle de la poudre, il eſt difficile de concevoir comment cette derniere a pu être découverte avant que la premiere fut connue. La propriété particuliere du ſalpêtre, c'eſt le progrès prodigieux de l'inflammation, produite par toutes les ſubſtances combuſtibles parmi leſquelles il ſe trouve mêlé, quoique chaque partie priſe ſéparément ne produiſe aucune exploſion.

Par exemple ſi on met du ſalpêtre dans un creuſet & qu'on le place ſur un feu il fondra, mais ſans s'enflammer ni cauſer aucun bruit. Mais ſi au temps de la fuſion on jette dans le creuſet une

ſubſtance inflammable, on verra dès l'inſtant s'élever une flamme violente, qui entraînera après elle une détonnation plus ou moins conſidérable ſuivant la quantité de matiere inflammable qu'on y aura jetté. Il s'enſuivra le même effet ſi le ſalpêtre eſt jetté dans le feu. *Il faut obſerver que nous avons placé le ſalpêtre dans un creuſet; par cette poſition il ſe trouve ſéparé de toute autre matiere combuſtible, au lieu qu'en le jettant ſur le feu, les parties inflammables du charbon ſe mêlent avec le ſalpêtre, ce qui*, &c. or l'on ne peut raiſonnablement ſuppoſer que cette qualité du ſalpêtre puiſſe avoir été long-temps inconnue, après que la ſubſtance elle-même fut découverte. Car faiſant tomber accidentellement une petite partie de ſalpêtre dans le feu, on doit s'appercevoir de cette prodigieuſe exploſion. Il étoit bien facile alors de faire ce ſimple raiſonnement, plus la ſubſtance mêlée avec le ſalpêtre ſera inflammable, plus prompte auſſi ſera l'exploſion ; & vraiſemblablement la poudre à canon a pris naiſſance de ces différents mêlanges combinés entr'eux & portés

portés au plus haut point de perfection.

Si donc nous pouvions ſavoir en quel temps on commença à découvrir le ſalpêtre, il nous ſeroit facile de connoître à peu près celui où fut compoſé pour la premiere fois un mêlange approchant de notre poudre. Or l'opinion la plus commune, quant à la découverte du ſalpêtre, c'eſt que les Arabes ou les derniers Grecs en eurent les premiers connoiſſance, vers le milieu de l'ere Chrétienne, lorſque l'Alchymie & la Chymie étoient le plus en honneur chez ces deux Nations; car chez les premiers, ſon nom même exprime ſa principale propriété, l'exploſion; & chez les derniers on trouve l'invention du feu Grégeois, dans la compoſition duquel, (s'il étoit vrai qu'il produisît les effets que lui ont attribué pluſieurs auteurs) il devoit néceſſairement entrer du ſalpêtre.

Quelques auteurs, trompés par la reſſemblance du nom, ont cru que le ſalpêtre avoit été connu des anciens, mais tous les Chymiſtes conviennent maintenant du contraire; & quant à moi, je penſe que le nitre dont parlent

les anciens auteurs, & dont Pline donne la deſcription, eſt un ſel très-différent de celui que nous appellons ſalpêtre.

On peut donc dire que l'invention de la poudre à canon (ou d'une compoſition ſemblable à la poudre à canon) eſt auſſi ancienne que la découverte des propriétés du ſalpêtre, & fort antérieure au temps de *Schwartz* & *Bacon*. Je n'en veux point d'autres preuves que ce qu'en dit cet auteur: (*n*) car il ne parle point de cette compoſition ſemblable à notre poudre, comme de quelque choſe de nouveau; mais ſeulement il enſeigne à s'en ſervir dans les opérations militaires, comme d'une invention déja fort ancienne. Il paroît même qu'on faiſoit alors des feux d'artifices avec un mêlange de ſalpêtre & de quelqu'autre matiere. *Marcus Græcus* en parle dans ſon Traité intitulé: *Le Livre des Feux* (*o*): il y enſeigne à faire deux ſortes de feux d'artifices; ceux qui s'élevent dans les airs, & ceux qui font du bruit. Pour les premiers, il faut enfermer la compoſition dans un étui long & mince, & qu'elle y ſoit bien comprimée; pour les derniers, il faut que l'étui ſoit court & épais,

bien lié par les deux bouts, & ſeulement à moitié rempli.

La compoſition qu'il emploie pour l'un & l'autre, n'eſt autre choſe qu'un mêlange de deux livres de charbon, une livre de ſoufre, & ſix livres de ſalpêtre: le tout pulvériſé enſemble dans un mortier de pierre. Or, comme il eſt évident, cette compoſition devoit avoir bien plus de force que celle que nous faiſons ſouvent avec une grande quantité de poudre. On ne ſait pas au juſte dans quel temps a vécu cet auteur: cependant il eſt ſûr qu'il exiſtoit avant qu'on eût commencé à ſe ſervir de l'Artillerie; car il ne dit en aucun endroit qu'on eût fait uſage à la guerre de ces ſortes d'inventions. Au ſurplus il ne parle point de ces pétards & de ces fuſées; (car c'eſt ainſi que ces feux doivent être nommés,) comme de quelque choſe de nouveau, ou qu'il eût inventé lui-même: ainſi, il eſt à préſumer qu'ils étoient déja connus long-temps avant lui.

C'eſt à peu près en l'année 1300 qu'on commença à ſe ſervir dans la guerre de ces ſortes de compoſitions. Bacon, lorſqu'il dit (en l'année 1280) qu'on pour-

roit faire uſage de ces exploſions terribles pour la deſtruction des armées ; eſt peut-être celui qui le premier en a donné l'idée. Ainſi, *Schwartz*, au lieu d'être l'inventeur de la poudre à canon, peut n'être qu'un des premiers qui nous ait appris à en faire uſage, & je ſuis très-porté à le croire par la maniere même dont on rapporte qu'il parvint à ces découvertes. (*p*) Les progrès que fit enſuite l'Artillerie, ne furent peut-être encore dûs qu'à la penſée de Bacon ; & c'eſt peut-être parce qu'on a en différents temps & différents lieux, exécuté les projets qu'il avoit propoſé, que les Auteurs varient ſi fort, lorſqu'ils veulent aſſigner & le temps & le lieu où l'on commença à faire uſage de la poudre à canon.

La poudre à canon, quelque temps après l'invention de l'Artillerie, (*q*) n'étoit pas, à beaucoup près, auſſi forte que celle dont nous nous ſervons aujourd'hui, ou que l'ancienne dont parle *Marcus Græcus ;* mais il eſt vraiſemblable que c'étoit pour la proportionner à la foibleſſe des premieres pieces, & non parce qu'on ignoroit l'art d'en

faire de meilleure. En effet, dans ce temps-là les canons n'étant compoſés que de pluſieurs lames de fer aſſemblées & bandelées, étoient bien-loin de la perfection des pieces d'aujourd'hui ; on ne s'en ſervoit alors que pour lancer des pierres d'un poids prodigieux, comme on faiſoit autrefois avec les machines. Elles devoient être par conſéquent d'un énorme calibre ; & combien ne devoit-il pas être difficile de les manier & de les conduire ! Enfin on découvrit que des boulets de fer d'un poids moins conſidérable que celui des pierres, produiroient beaucoup plus d'effet, s'ils étoient pouſſés par de la poudre plus forte & en plus grande quantité. Il ſe fit alors un grand changement dans la maniere de conſtruire les canons & la matiere qu'on y employoit ; & c'eſt de là que nous ſont venus les canons de bronze, qui, quoique plus légers & plus faciles à manier que les anciens, étoient cependant beaucoup plus forts par rapport à leurs calibres, & pouvoient par conſéquent réſiſter à l'effort d'une aſſez groſſe charge de poudre de meilleure qualité que celle dont on

ſe ſervoit auparavant : par ce moyen on lançoit des boulets de quarante à cinquante livres, qui étant portés avec beaucoup de vîteſſe, cauſoient bien plus de dommage à l'ennemi que les plus groſſes pierres n'auroient pu faire (*r*).

On compoſa donc de la poudre telle que celle que nous employons aujourd'hui. (*s*) On ne ſe contenta pas même d'avoir trouvé les proportions que doivent avoir les parties qui la compoſent, on apprit à la mettre en grains. Autrefois elle étoit pulvériſée comme de la farine, & on la laiſſoit telle qu'elle ſortoit du mortier où s'étoit fait le mêlange. Je ne ſais même ſi, lorſqu'on commença à la mettre en grain, on avoit pour but de lui donner plus de force, ou ſimplement de la rendre plus propre à former des charges pour les petites armes. Ce qui ſemble favoriſer ce dernier ſentiment, c'eſt que longtemps après cette découverte on ſe ſervit encore pour le canon de la poudre pulvériſée ; mais enfin on reconnut que la poudre en grain devoit avoir beaucoup plus de force, parce que le feu trouvant un paſſage entre les grains,

ſe communiquoit plus rapidement, de ſorte qu'on abandonna totalement l'ancienne poudre (*t*).

Depuis deux ſiecles, l'Artillerie n'a fait que bien peu de progrès; les meilleures pieces que nous ayons aujourd'hui ne different pas ſenſiblement de celles qui avoient été faites du temps de Charles-Quint. On a ſouvent eſſayé d'en faire de plus légeres & de plus courtes; mais quoiqu'elles aient leurs avantages dans bien des circonſtances, cependant comme ce ne peut être qu'en quelque cas particuliers, on n'en a point adopté l'uſage.

Il s'eſt fait néanmoins des changements conſidérables dans la maniere de ſe ſervir du canon, & de diriger les batteries. Par exemple on a reconnu qu'il étoit poſſible de ruiner un baſtion avec des canons beaucoup plus petits que ceux dont on ſe ſervoit autrefois; & les pieces qu'on emploie maintenant pour battre en breche, ſont des canons, qui lancent des boulets de 34 livres. En effet, l'expérience a appris que ces boulets, quoique portés avec moins de force que ſi la piece étoit

d'un calibre plus conſidérable, ſont néanmoins ſuffiſants pour renverſer les fortifications ordinaires. Ce qui, joint à ce que la manœuvre de ces derniers canons eſt beaucoup plus facile, & que par-là on épargne beaucoup de munitions, les doit rendre bien préférables aux autres. Lorſqu'on veut battre maintenant en breche, on a ſoin, autant qu'on le peut, de battre la partie inférieure du mur, avant de diriger les batteries contre la partie ſupérieure, ce qui eſt, je crois, de l'invention des modernes; car je n'ai vu dans aucun des anciens auteurs une pareille maniere de procéder; & Gabriel Buſca (*u*), qui fait beaucoup valoir ſa pratique & ſon expérience, enſeigne préciſément le contraire (*x*).

Mais la découverte la plus ingénieuſe dans l'Artillerie pratique, c'eſt la méthode de tirer avec une juſte quantité de poudre, & ſous l'angle néceſſaire des boulets qui n'aient que la force qu'il leur faut pour franchir le parapet des ennemis, & tomber dans leurs ouvrages.

Le boulet venant à toucher terre ſous

un angle très-petit, & n'ayant que peu de vîteſſe, doit ou bondir, ou rouler ſuivant la direction qu'on lui avoit donnée ; de ſorte que ſi la piece eſt pointée en ligne droite avec la batterie que l'on veut ruiner ; ou le front que l'on veut renverſer, chaque coup frappera le front ou la batterie dans toute ſa longueur, & cauſera bien plus de dommage aux aſſiégeants, ou démontera leurs canons bien plus facilement que ſi l'on eût ſimplement tiré contre le même ouvrage, ſuivant la méthode ordinaire. Cette invention ſi utile eſt due à Mr. de Vauban ; c'eſt lui qui lui a donné le nom de batterie à ricochet, & qui le premier en fit uſage au ſiege d'Aeth (*y*), en l'année 1692 (*z*).

Après cette courte diſſertation ſur la partie méchanique de l'artillerie, je crois que nous devons auſſi parler des différentes théories concernant le mouvement des bombes & des boulets. Les obſervations qu'on a juſqu'à préſent faites ſur ce ſujet, ne ſont gueres dignes de notre attention ; mais comme cette partie eſt étroitement liée à celle que nous allons traiter, je compte ſur l'indulgence du Lecteur.

Le premier auteur qui ait écrit ſur le chemin que parcourent les boulets, eſt *Tartalea*, Mathématicien, & très-fameux pour avoir inventé la méthode de réſoudre les problêmes du troiſieme degré, quoique communément on en donne toute la gloire à *Cardan*. C'eſt pour ce ſujet que dans ſa Nouvelle Science, imprimée à Veniſe en l'année 1537, & enſuite dans ſes recherches & inventions diverſes, imprimées dans la même Ville en 1546, cet auteur propoſe & explique différentes particularités relatives à la théorie du mouvement; & quoiqu'il ſe ſoit appuyé ſur de faux principes, parce qu'alors la méchanique étoit bien imparfaite, néanmoins il n'a pas laiſſé de réuſſir dans ſes recherches, & il eſt le premier qui ait reconnu que la plus grande portée du canon ſe fait ſous l'angle de quarante-cinq degrés: il eſt auſſi le premier qui ait découvert que le chemin que parcourt un boulet, n'eſt point une ligne droite, comme on le croyoit auparavant; mais que c'eſt une ligne courbe, quoique preſque infiniment peu courbe, de ſorte qu'on peut la comparer à la cour-

bure de la mer, qui paroît être une ſurface plane, quoiqu'elle ſoit convexe auſſi bien que la terre. Le même auteur s'attribue auſſi l'invention du quart de cercle dont on ſe ſert pour le canon : il prouve enſuite d'une maniere aſſez ingénieuſe, les avantages qu'on pourroit tirer de différentes méthodes qu'il propoſe : mais comme dans cette ſcience, il ne s'étoit jamais adonné à la pratique, & que ſes opinions étoient fondées ſur la ſpéculation ſeulement, les auteurs qui ſont venus après lui, ont ſouvent combattu ſes ſentiments, ſans cependant le nommer. On en peut voir de fréquents exemples dans les Ouvrages de Buſca, Collado (*aa*), Ufano, Simienowicz, &c. s'éleva même à cette occaſion entre les Philoſophes différentes diſputes, qui durerent en Italie juſqu'au temps de Galilée. C'eſt peut-être ce qui a donné lieu au célebre Dialogue ſur le mouvement, qui fut imprimé pour la premiere fois en 1638. Il parut dans ce temps-là, & avant que Galilée eût expliqué les loix du mouvement, pluſieurs traités ſur la théorie du mouvement des Projectiles militaires, & pluſieurs tables, où étoient

indiquées les différentes amplitudes, ſuivant les différentes élévations ; mais tous ces Ouvrages ſont pleins d'abſurdités & d'erreurs, quoique ceux qui les avoient compoſés euſſent paſſé dans l'Artillerie la plus grande partie de leur vie. Nous n'avons des tables que de Ufano, Galeus, Ulrick, &c. s'il en faut croire Blondel (*bb*) ; mais il eſt à préſumer qu'outre les Auteurs qu'il nomme, il s'en trouve encore beaucoup d'autres qui ont travaillé ſur le même ſujet. En effet, il n'eſt aucun des anciens auteurs qui ont examiné les loix du mouvement, qui ne ſe ſoit livré à quelque ſpéculation ſur les différences des mouvements forcés, naturels & mixtes, quoique dans l'application il arrivât ſouvent que les fauſſes notions qu'ils en avoient données ſe contrediſoient. Ce qu'il y a de plus ſingulier, c'eſt qu'avant les conteſtations qui s'éleverent depuis ſur ce ſujet, ceux qui avoient propoſé leurs théories, & qui rempliſſoient dans l'Artillerie les premiers emplois, ne ſe donnerent pas ſeulement la peine de les confirmer par des expériences. Il ne s'eſt trouvé que quatre auteurs qui aient fait connoî-

tre les chemins que parcoururent les bombes & les boulets, ſuivant les différents angles d'élévation que l'on donne à la piece. Le premier eſt *Collado*, qui a déterminé le chemin que parcouroit une balle de trois livres lancée par un fauconnet, ſuivant l'angle qu'on donneroit à ſa direction, avec le quart de cercle du Canonier ; mais ſi on examine les nombres qu'il indique, il eſt facile de voir que la piece n'étoit pas chargée avec autant de poudre qu'on en met ordinairement (*cc*): le ſecond eſt notre Patriote *Bourn*, dont le Traité fut imprimé une année après celui de *Collado*. C'eſt par degré, & non par les points du quart de cercle qu'il a calculé ſes élévations ; & il donne une table des différentes amplitudes, ſuivant les différents degrés d'inclinaiſons qu'on a donné à la piece (*dd*); mais il n'explique point de quelle eſpece étoit le canon dont il ſe ſervoit dans ſes expériences. Il eſt facile cependant de connoître qu'il étoit des petits, par les amplitudes qu'il indique. Il ſeroit à ſouhaiter qu'il n'eût pas oublié cette circonſtance ; car nous démontrerons que les amplitudes varient ſuivant la vîteſſe &

la denſité des boulets : les deux autres enfin, ſont *Anderſon* & *Eldred*, tous deux Anglois. Le premier a fort mal réuſſi dans ſes expériences, pour s'être trop attaché à ſa fauſſe théorie ; j'aurai occaſion d'en parler dans la ſuite. Pour Eldred il mérite mieux notre approbation ; (*ee*) ſes principes ſont aſſez ſimples ; & quoiqu'ils ne ſoient pas rigoureuſement vrais, ils ne ſont pas fort éloignés de l'être. Il nous a donné les vraies amplitudes d'une piece de canon tiré ſous les différents degrés d'élévation qui ſont au-deſſous de dix degrés : il a fait grand nombre d'expériences à ce ſujet, & il paroît y avoir apporté beaucoup de ſoin & d'exactitude, & de plus, beaucoup de bonne foi ; car il a eu même la ſincérité d'avouer que quelques-unes d'entr'elles ne s'étoient point accordées avec ſes remarques. Enfin, comme qu'il ait réuſſi, il s'eſt donné beaucoup plus de peines, & a acquis là-deſſus des connoiſſances plus juſtes qu'aucun de ceux qui, comme lui, s'étoient adonnés à la pratique. En effet, tous les autres étoient ſi attachés à leurs théories, & aux uſages qu'on avoit ſuivis juſqu'à eux,

qu'ils ne penſerent jamais à perfectionner cet art par des expériences. Ils s'imaginoient ſans doute qu'il étoit au plus haut point de perfection, autrement il eût été impoſſible que des théories ſi contraires à l'expérience ſe fuſſent ſoutenues auſſi long-temps qu'elles ont fait. Je n'en veux d'autre preuve que les grands changements qui ſe ſont faits depuis Galilée.

En 1638, Galilée fit imprimer, comme nous l'avons déja obſervé, ſon Dialogue ſur le mouvement : il y fait voir les loix générales obſervées conſtamment dans la production & la compoſition du mouvement. Il eſt le premier qui ait déterminé l'action de la peſanteur ſur les corps qui tombent, & les effets qui s'en ſuivent. Par ces mêmes principes, il prouve que le chemin que parcourt un boulet, ou tout autre projectile, eſt une courbe parabolique, à moins qu'il ne ſoit détourné par la réſiſtance de l'air, ou par quelqu'autre cauſe, & il donne une méthode pour découvrir quels effets ſenſibles cette réſiſtance peut produire ſur le mouvement du boulet à certaines diſtances de la

piece, comme il démontre qu'indépendamment de la réſiſtance de l'air, le boulet ou le projectile doit toujours décrire une parabole; on auroit dû eſpérer que ceux qui ſont venus après lui, auroient examiné juſqu'à quel point le mouvement de projection dans un mobile, s'écarte de cette courbe, afin de ſavoir certainement ſi dans la pratique on doit avoir égard ou non à la réſiſtance de l'air; mais point du tout; ils ſe ſont contentés d'aſſurer hardiment, ſans être fondés ſur aucune expérience, que l'action de l'air ſur les bombes ou les boulets étoit ſi peu de choſe, qu'il n'étoit pas néceſſaire d'y faire attention, & ils s'appuyoient ſur ce que la denſité de l'air eſt preſque infiniment plus petite que celle d'une bombe ou d'un boulet. De-là tous les Auteurs ſuivants ayant adhéré à ce ſentiment, il eſt aujourd'hui regardé comme un axiome.

Et en effet, en l'année 1674, Mr. Anderſon, dans ſon Traité ſur les uſages & effets du canon, ſoutient cette opinion avec beaucoup de chaleur, & offre de répondre à toutes les objections qu'on pourroit lui faire là-deſſus. Pareillement

reillement Mr. Blondel, dans ſon Art de jetter les bombes, imprimé à Paris en 1683, applique au mouvement de ces projectiles la théorie de Galilée: après avoir examiné, par une longue diſſertation, de combien la réſiſtance de l'air les pouvoit écarter de la parabole, il conclut que c'eſt ſi peu de choſe, qu'on peut dans la pratique négliger ſans erreur cette différence (*ff*). C'eſt auſſi le ſentiment du Docteur Halley, (*gg*) dans les Tranſactions philoſophiques. La raiſon qu'il en donne, c'eſt l'extrême diſproportion entre la denſité de l'air & celle d'un boulet; & il penſe que la réſiſtance de l'air contre un gros boulet ne peut être ſenſible, quoiqu'il ſoit d'avis qu'on y ait égard, ſi le boulet étoit petit & léger. En conſéquence, comme il eſt évidemment démontré par Galilée, que tout projectile décrit une parabole, s'il n'en eſt écarté par quelque obſtacle, les auteurs d'aujourd'hui s'accordent tous pour aſſurer que le chemin parcouru par une bombe ou un boulet eſt une parabole à bien peu de choſe près. Mais pour reconnoître la fauſſeté de leur ſentiment, nous

pouvons en appeller aux auteurs qui ont écrit ſur ce ſujet depuis quarante ans.

Quoique cette hypotheſe fût facilement adoptée par tous ceux qui ſe contentoient de la ſpéculation, néanmoins Anderſon trouva dans les différentes expériences qu'il fit, que ce ſentiment, pour être vrai, exigeoit quelque modification; & quoiqu'il ne paroiſſe pas qu'il eût jamais examiné les rapports qu'obſervent entr'elles les amplitudes du chemin parcouru par un boulet de canon, ou une balle de mouſquet, lorſqu'on leur communique leur vîteſſe ordinaire, cependant il connut par proportion, en conſidérant ſimplement les amplitudes des courbes décrites par ces mêmes projectiles lancés avec moins de force, que le chemin que parcourt un boulet, ou une balle, n'eſt pas toujours une parabole: il eſt facile de s'en convaincre en liſant ſon Traité, intitulé, *frapper un but*, imprimé en 1690. Mais au lieu d'en tirer de juſtes conſéquences pour découvrir les effets conſidérables de la réſiſtance de l'air, toujours attaché à l'opinion générale, il forme une nouvelle hypotheſe, qui eſt que la

bombe ou le boulet au ſortir du canon ou du mortier, parcourt une ligne droite juſqu'à une certaine diſtance, à l'extrémité de laquelle il commençoit ſeulement à décrire une courbe parabolique. Il appelle cette ligne droite, ligne d'impulſion, & il la ſuppoſe la même dans toutes les élévations. Par cette hypotheſe (quoiqu'elle fût inſoutenable) il pouvoit toujours, en aſſignant une étendue convenable à la ligne d'impulſion, concilier les expériences faites ſur deux boulets tirés à différents degrés d'élévation, quelqu'oppoſées qu'elles fuſſent aux principes reçus. Je crois cependant que ſa nouvelle théorie ne fut gueres confirmée par les fréquentes expériences qu'il fit; car il n'oſe pas nous rapporter celles qu'il avoit faites ſur les amplitudes des courbes, décrites par trois boulets tirés ſous différents degrés d'élévation avec la même quantité de poudre. C'eſt, je crois, parce qu'il ne pouvoit à la fois concilier l'irrégularité des courbes décrites par ces trois boulets, comme il avoit fait lorſqu'il ne s'agiſſoit que de deux; mais ſi ces irrégularités ſenſibles étoient

cauſées par la réſiſtance de l'air, lorſque la bombe n'étoit chaſſée que par une petite quantité de poudre, combien l'action de l'air ne doit-elle pas influer ſur le mouvement d'un boulet, qui, lancé par une charge plus conſidérable, & à travers un cylindre beaucoup plus long, a peut-être trois fois ou quatre fois plus de vîteſſe. A chaque inſtant cette réſiſtance doit changer ſa direction, comme nous le prouverons plus amplement dans la ſuite.

Lorſque Newton eut mis au jour ſes Principes mathémathiques de la philoſophie naturelle, on eût dû s'attendre ſans doute que tous les Mathématiciens ſe rendroient à la force de ſes raiſonnements : car dans cet ouvrage immortel il détermine & confirme par pluſieurs expériences les loix & la quantité de réſiſtance que l'air oppoſe à des mouvements peu rapides ; & quoique ces loix ne ſe trouvent point obſervées dans des mouvements peu accélérés, parce que la réſiſtance augmente en plus grande raiſon que le mouvement, tout ce qu'on en devoit conclure, c'eſt que dans ces cas-là la réſiſtance de l'air étoit

trop conſidérable pour être négligée. (*hh*) Néanmoins malgré toutes les raiſons qui démontroient l'erreur dans la quelle on avoit été juſqu'alors, je n'ai trouvé qu'un ſeul auteur qui ait fait uſage dans l'Artillerie-pratique des principes de Newton. (*ii*)

Pour faire une récapitulation de mes obſervations ſur ce ſujet, il me paroît que les auteurs modernes qui ont traités de l'Artillerie ſe ſont trompés, lorſqu'ils ont cru que la réſiſtance que l'air oppoſe au mouvement des bombes & des boulets, étoit inſenſible, & qu'ils ont aſſuré en conſéquence que ces projectiles décrivoient toujours des paraboles à peu de choſe près. De-là il eſt arrivé que tous leurs calculs ſur le jet des bombes ſe doivent reſſentir de la fauſſeté de leur principe, & par conſéquent que la théorie qu'on a ſur l'Artillerie, conduit immanquablement à l'erreur.

C'eſt pour corriger dans cet art ſi recommandable une pareille erreur, que dans le deuxieme chapitre du Traité ſuivant, nous avons entrepris de prouver combien il eſt faux de dire que tout projectile dans ſon mouvement décrit une

parabole. Nous déterminerons auſſi le degré de réſiſtance qu'éprouve un boulet ſuivant la vîteſſe qu'on lui communique : & comme la vîteſſe du boulet au ſortir du canon eſt connue par le premier chapitre, la déclinaiſon du boulet cauſée par la réſiſtance de l'air, ſe connoît par un problême géométrique, qui eſt aſſez compliqué, & difficile à réſoudre, ſi l'on en veut la ſolution exacte ; mais dont les expériences & la pratique donnent une ſolution ſuffiſamment approchée, qui nous met en état de confirmer encore notre théorie. Quoique ceux qui liront avec attention le Traité ſuivant ne puiſſent douter de la certitude des points que j'y établis, il eût été cependant fort utile de comparer les amplitudes trouvées par des expériences avec les réſultats des calculs faits par la théorie. J'eus une fois l'intention de former ſur ce ſujet un nouveau chapitre ; mais deux raiſons m'en détournerent : la premiere, c'eſt la difficulté que je trouvois à déterminer au juſte les vraies amplitudes, difficulté qu'on ne peut ſentir à moins qu'on ne faſſe ſoi-même des expériences ; la

ſeconde, c'eſt le changement continuel auquel ſont ſujettes ces amplitudes, qui, juſqu'à préſent, a toujours rendu nos obſervations infructueuſes : en effet la même piece, à la même élévation, porte un boulet, après avoir tiré quelques coups, beaucoup plus loin qu'elle faiſoit au commencement, ce que je ne ferai obſerver plus particuliérement dans la ſeptieme Propoſition du ſecond chapitre.

Malgré ces difficultés, qui m'ont empêché d'inſérer dans le Traité ſuivant des expériences qui auroient pu confirmer la vérité de ma théorie, ſur la réſiſtance que l'air oppoſe aux projectiles, j'ai cependant réſolu de pourſuivre mon premier deſſein, & je me flatte d'avoir trouvé une méthode pour prévenir & corriger l'irrégularité des amplitudes dont nous avons parlé ci-deſſus : car ſi on ne commence pas par-là, il eſt évident que toutes les expériences qu'on pourra faire ſeront inutiles & infructueuſes. Ce ſera dans la ſeconde partie de ce Traité que je donnerai le réſultat de celles que j'aurai faites. Là, non-ſeulement j'inférerai & les expériences faites

ſur le chemin que parcourent dans leur mouvement les bombes & les boulets, & les calculs de la théorie que je dois comparer avec elles; mais encore je me propoſe d'y joindre pluſieurs autres expériences, qui, quoique d'une autre nature que les premieres, ont cependant un rapport direct avec la théorie, ou la pratique de l'Artillerie : j'y donne auſſi à ceux qui s'attachent à la pratique, divers conſeils (conſéquemment aux principes que j'y ai établis) qui, je crois, ſeront de quelque utilité pour la perfection de l'Artillerie. Une partie de mon ouvrage eſt déja achevée, & j'ai préparé la plupart des machines qui doivent me ſervir dans mes expériences; mais parmi ces expériences, qui ſont encore à faire, il en eſt quelques-unes qui demandent beaucoup de temps, & tous les temps ne ſont pas propres pour les exécuter.

Comme après avoir déterminé la réſiſtance que l'air oppoſe au mouvement des projectiles, je propoſe auſſi une théorie ſur la force & l'action de la poudre, on pourroit peut-être s'attendre à me voir rapporter ce qu'ont penſé ſur le même ſujet ceux qui ont écrit avant moi;

mais ce qu'ils ont dit là-dessus est si vague & si embrouillé, qu'on a souvent bien de la peine à démêler quelle étoit leur pensée. L'hypothese la plus intelligible qu'on ait proposé sur ce sujet, est celle de Mr. de la Hire, qui semble avoir donné naissance à toutes celles qui ont paru ensuite.

Mr. de la Hire dans l'histoire de l'Académie des Sciences de France, de l'année 1702, attribue la force de la poudre à l'élasticité de l'air contenu dans les grains & entre les grains, en la supposant augmentée par le feu & la chaleur de la poudre à l'instant de l'explosion; mais il faut remarquer que si l'air doit être dans son état naturel à l'instant où la poudre est en feu (& cela est inconteſtable pour l'air qui se trouve entre les grains) alors l'élasticité de ce fluide pourroit devenir à peine une fois plus grande qu'elle ne l'étoit auparavant, comme nous le prouverons plus amplement ci-après (*kk*), ce qui ne pourroit pas seulement produire la 200e partie de l'effort que fait tous les jours la poudre enflammée.

Cette hypothese a donné occasion à

pluſieurs auteurs François de faire là-deſſus des Diſſertations & des Traités. L'un d'eux, entr'autres, trouve que Mr. de la Hire a fait une demande très-raiſonnable, lorſqu'il a ſuppoſé l'élaſticité de l'air échauffé par le feu de la poudre cent fois plus grande, que lorſqu'il a un degré de chaleur égal à celui de l'eau bouillante; mais j'imagine avoir ſuffiſamment démontré qu'une telle augmentation actuelle de cette puiſſance eſt impoſſible: je ne m'arrêterai donc pas à rapporter ici les ſentiments de tous ces différents auteurs ſur ce même ſujet: au ſurplus j'ai eu ſoin dans la ſuite d'appuyer la théorie que j'y propoſe par des expériences ſi déciſives, qu'elles peuvent ſervir de réfutation à toute autre opinion.

*Fin de la Préface.*

# TRADUCTION

## *Des notes de la Préface de Mr. ROBINS, ſuivant l'ordre des pages.*

(*a*) PAge 76. *Voyez* les Commentaires du Chevalier Folard, ſur Polybe, t. 3, p. 2.

(*b*) P. 76. *Voy.* un ouvrage intitulé, *Diſcours ſur pluſieurs points de l'Architecture de guerre concernant les fortifications, tant anciennes que modernes, &c.* compoſé par Mr. Aurelio de Paſino, Architecte de très-illuſtre Monſeigneur le Duc de Bouillon, imprimé par Plantin en 1579. Il paroît par un compliment en vers qui ſe trouve à la tête de l'ouvrage, que cet auteur avoit fortifié Sedan.

(*c*) Pag. 78. Anvers fut fortifiée vers l'an 1540, comme nous l'apprend Speckle, liv. 1, ch. 10.

(*d*) P. 78. Voy. *la méthode de fortifier Villes & Châteaux & faire autres lieux forts, miſe en françois en l'année 1556, par François de la Treille, Seigneur de Berril, Commiſſaire d'Artillerie.* C'eſt le premier des auteurs que j'ai vu qui ait propoſé l'arriere-courtine. Son ouvrage fut imprimé dans la ſuite ſous le nom d'Ordre renforcé.

(*e*) Pag. 78. *Daniel Speckle* étoit Architecte de la ville de Marbourg; il mourut en 1589 :

on a de lui un Traité de fortifications en Allemand, réimprimé à Leipſick en 1736.

(*f*) Pag. 82. Paſino, dont nous avons déja parlé ci-deſſus, eſt l'inventeur des contre-gardes, elles furent perfectionnées par Speckle, & les contre-gardes de ce dernier auteur non-ſeulement étoient placées devant le baſtion, mais encore elles entouroient toute la place.

(*g*) Pag. 84. Voyez le *Traité de fortification de Pagan*, *chap.* 4, dans lequel il ſoutient cette opinion enviſagée ſous ce point de vue.

(*h*) P. 85. Dans le dernier & fameux ſiege de Barcelone, la perte de la contreſcarpe, qui fut priſe en 15 jours, n'entraîna point celle de la ville, elle faiſoit même encore la plus vigoureuſe réſiſtance, lorſque ſes remparts étoient ouverts par pluſieurs breches.

(*i*) P. 86. On peut voir dans les ouvrages de Landsberg, Ingénieur au ſervice des Etats-Généraux, pluſieurs exemples des périls & des riſques auxquels les alliés furent expoſés dans la derniere guerre. Ces accidents, ſelon cet auteur, ne provenoient ordinairement que de la préſomption de ceux qui conduiſoient les ſieges, qui pour aller plus vîte reſſerroient le front de leurs attaques, & laiſſoient ſouvent derriere eux les ouvrages de l'ennemi, ce qui rendoit leurs progrès preſque impoſſibles. Voy. *ſa nouvelle maniere de fortifier les places.*

(*k*) P. 86. Voy. *Memoire del General Principe di Montecuculli*, p. 116.

(*l*) Pag. 87. Voyez *la fortification démontrée*, l. 3, ch. 2. Outre l'invention dont nous venons de parler, on y en trouve encore une autre, c'eſt de placer une gallerie ſous le chemin couvert, & de placer des vedettes dans le foſſé. Ce qui eſt pratiqué à Tournay, & encore mieux à Berg-Op-Zoom, *Voyez* l. 4, ch. 7.

(*m*) P. 89. Dans ſa Préface, il dit que c'eſt l'ouvrage de M. de Valliere, Maréchal des Camps & Capitaine général des Mineurs.

(*n*) Pag. 98. Bacon dit que par le ſecours de l'art, on pourroit produire un bruit ſemblable à celui du tonnerre, & former des feux plus brillants que ceux que produit la nature même, & cela de pluſieurs manieres; que par le même moyen on pourroit détruire des villes & des armées entieres. Il imagine même que c'eſt par des artifices de cette eſpece, que Gédéon détruiſit l'armée des Madianites. Dans un autre Traité où il dit encore la même choſe, quoiqu'en d'autres termes, il ajoute (on a traduit ici le paſſage latin): *Cette expérience eſt fondée ſur un jeu d'enfant, & eſt connue de tout le monde: ſi dans un pétard de la groſſeur d'un pouce on renferme un ſel, qu'on appelle ſalpêtre, & qu'on y mette le feu, à la rupture de cette petite machine faite d'un peu de parchemin, on entendra un bruit plus terrible que celui du tonnerre, & on appercevra une flamme d'un éclat plus vif que celui même de l'éclair.* Voyez la Préface du Docteur Jebb, dans ſon édition du grand ouvrage de Bacon.

(*o*) P. 98. C'eſt un manuſcrit qui eſt entre

les mains du Docteur Mead, Médecin ; mais ce qu'on rapporte ici, eſt cité par l'éditeur du grand ouvrage de Bacon dans la Préface.

(*p*) Pag. 100. Voici la maniere dont on raconte ordinairement que Schwartz fit cette découverte. Ayant pilé la compoſition de la poudre à canon dans un mortier qu'il couvrit enſuite d'une pierre, une étincelle de feu vola par haſard dans le mortier, ce qui ayant mis le feu à la compoſition, elle fit ſauter la pierre par ſon exploſion à une diſtance conſidérable ; mais nous avons vu que Schwartz, ne pouvoit être l'inventeur de la poudre à canon, qui depuis long-temps étoit connue ; ainſi tout l'avantage qu'il put tirer de cette expérience, ce fut de connoître qu'on pouvoit à la guerre ſe ſervir de la poudre à canon bien plus utilement qu'on n'avoit fait juſqu'alors. En effet, Bacon avoit ſeulement cru que le feu de la poudre par ſon exploſion pourroit cauſer du dommage aux corps qu'il rencontreroit, & c'eſt la maniere dont il penſoit qu'on pouvoit s'en ſervir à la guerre ; ce qui appuye encore mes conjectures ſont le nom & la forme de mortier qu'on donnoit aux anciennes pieces d'Artillerie, lorſqu'on s'en ſervoit pour lancer de gros boulets de pierre, contre des murs ou des élévations.

(*q*) Pag. 100. *Voyez* Tartalea dans ſes recherches & inventions. l. 3, rech. 5, où il rapporte juſqu'à 32 compoſitions différentes dont on s'étoit ſervi en divers temps ; & dont la premiere & la plus ancienne contenoit des parties égales de nitre, de ſoufre & de charbon.

(r) Pag. 102. On peut voir en quel temps ces changements eurent lieu, & les avantages qu'on en retira dans Guicciardin, qui dit, parlant de l'invaſion que l'armée françoiſe vouloit faire en Italie en l'année 1494, (c'eſt la traduction de l'Italien) *pour ſeconder cette armée on avoit fait tranſporter à Genes quantité de groſſe artillerie pour battre les murailles, & ſervir pendant la campagne, jamais on en avoit vu de pareilles en Italie, & ces machines infernales inventées quelques années auparavant en Allemagne y furent apportées pour la premiere fois par les Vénitiens dans la guerre qu'ils eurent avec les Génois vers l'an 1380, le nom des plus groſſes pieces étoit bombarde ou mortier. Cette invention s'étant enſuite répandue en Italie, on s'en ſervoit pour renverſer les remparts; les unes étoient de fer & les autres de bronze, & toutes étoient fort groſſes. Enſorte, que tant à cauſe du poids & de la grandeur de la machine, que par la mal-adreſſe de ceux qui manœuvroient, on ne pouvoit les conduire que très-lentement & avec beaucoup de difficulté. Il ne falloit pas moins de peine pour les planter en terre; & lorſque cette opération étoit faite, il y avoit un ſi grand intervalle d'un coup à l'autre qu'on y conſumoit beaucoup de temps; de ſorte que l'avantage qu'on en tiroit étoit fort peu de choſe, en comparaiſon de celui que procurerent les canons qu'on inventa dans la ſuite; car cette lenteur donnoit aux aſſiégés le temps d'élever dans leur ville de nouvelles fortifications; mais les pieces des François étoient beaucoup plus légeres. Elles étoient toutes de bronze, & ils les appelloient canons. Ils ſe ſervoient de boulets de fer, au lieu des boulets de pierre dont on ſe ſervoit auparavant, qui étoient d'un volume & d'un poids bien plus conſidérable: ils étoient*

*traînés ſur des charriots, par des chevaux, & non par des bœufs, ſuivant la coutume d'Italie, avec tant d'agilité qu'ils marchoient auſſi vîte que les armées. On les conduiſoit, on les établiſſoit devant les murs des villes aſſiégées avec une promptitude incroyable; & l'intervalle qui étoit entre les coups étant fort court, les boulets frappoient les remparts ſi ſouvent & avec tant de force qu'on achevoit en peu d'heures, ce qui autrefois retenoit pluſieurs jours.* Voyez l'hiſtoire de Guicciardin, l. 1, p. 24, de l'édition de Veniſe, in-4°. & de l'année 1562. On concevra encore mieux ce que dit cet auteur ſur la groſſeur des boulets de pierre qu'on employa tant qu'on ſe ſervit des anciennes pieces, ſi on remarque que quand Mahomet II aſſiégea Conſtantinople en 1453, il battit en breche avec des boulets de pierres. Quelques-unes de ces pieces étoient même de 1200 livres; mais on ne pouvoit tirer que quatre fois par jour.

(*s*) Pag. 102. Tartalea nous apprend que, de ſon temps, la poudre à canon étoit compoſée de quatre parties de ſalpêtre, une de ſoufre & une de charbon, & la poudre pour les fuſils de 48 parties de ſalpêtre, 7 de ſoufre, & 8 de charbon; ou de 18 parties de ſalpêtre, deux de ſoufre & 23 de charbon. Ces compoſitions pour la poudre des fuſils ſont encore aujourd'hui à peu près les mêmes. Le premier de ces mêlanges ayant ſur 100 liv. de poudre une livre de ſalpêtre, de plus qu'on en met aujourd'hui, & le ſecond en ayant 3 livres.

(*t*) Pag. 103. C'eſt un fait inconteſtable que la poudre fut d'abord employée en pulverin, & telle

telle qu'elle ſortoit du mortier ; & long-temps après qu'on eut trouvé l'art de la mettre en grain pour l'uſage des petites armes à feu, on ſe ſervoit encore de l'ancienne pour l'Artillerie. Tartalea, dans ſes recherches, l. 3, queſt. 9 & 10, nous dit expreſſément qu'alors la poudre à canon étoit pulvériſée, & que celle du mouſquet étoit en grain, & notre compatriote Guillaume Bourne, dans ſon art de tirer les grandes pieces d'Ordonnance, publié 40 ans avant Tartalea, nous dit (chap. 1), que la poudre ſerpentine, (qui étoit la poudre pulvériſée) doit être auſſi fine que le ſable & auſſi douce au tact que la fleur de farine. Le Chevalier Henry Mauwagring dans ſon Dictionnaire de Marine, dédié au Duc de Buchinghan du temps de Charles I, nous dit auſſi au mot *poudre*, il *y a deux ſortes de poudres, l'une pulvériſée, & qu'on nomme ſerpentine, l'autre qu'on appelle grainée* : il nous apprend en même temps que ſur mer, il ne ſe ſervoit point de la poudre ſerpentine ; & je crois même, que de ſon temps on commençoit à ne plus employer que de la poudre en grain, d'autant que pluſieurs qui avoient écrit avant lui ſur l'Artillerie, avoient fort recommandé l'uſage de cette nouvelle poudre.

(*u*) Pag. 104. Voyez *ſon inſtruction du Bombardier*, imprimée à Carmagnole en 1584, ch. 37, dans lequel il recommande de commencer la breche par le haut du mur, & de la continuer en deſcendant.

(*x*) P. 104. Voy. *Pratica manuale di Arteglieria dal Mag. Sig. Luigi Collado Hyſpano, Bettica*

*Nebriſenſe*, imprimé à Veniſe en 1586, ch. 20, où il dit dans *le temps des guerres du grand Turc, on employoit toujours des pieces d'ordonnance, pour percer les murs tranſverſalement par le pied, & enſuite perpendiculairement de haut en bas. Après quoi on ſe ſervoit des baſiliques pour abattre le reſte du mur déja percé.* Cet ouvrage eſt compoſé en Italien, quoique l'auteur fût Eſpagnol ; mais il ſervoit en qualité d'Ingénieur dans l'armée Eſpagnole qui étoit alors en Italie. Il nous dit dans ſa Préface qu'il ſe propoſoit auſſi de donner cet ouvrage en Eſpagnol, & c'eſt ſans doute de cette derniere édition que parle Blondel, dans ſon art de jetter les bombes.

(*y*) Pag. 105. *Voyez* ſon Traité de l'attaque & de la défenſe des places.

(*z*) P. 105. *Voyez* le Journal de ce ſiege, imprimé à la fin de la derniere édition des Mémoires de Goulon.

(*aa*) Pag. 107. Collado, ch. 43, dit que Tartalea n'eſt point l'inventeur du quart de cercle de Canonier, & cite Daniel Santbech, ou *Regiomontanus*, ne ſe ſouvenant pas dans lequel des deux il a vu le paſſage qu'il cite, parce qu'il y avoit pluſieurs années qu'il les avoit lus ; mais ce qu'il y a de vrai, c'eſt que Santbech dont il a voulu parler, ne fit pas imprimer ſon ouvrage intitulé : *Problematum, Aſtronom. & Geom. Sectiones ſeptem*, avant l'année 1561, ce qui eſt bien poſtérieur au temps de Tartalea, & que quoiqu'il y parle ſouvent des différentes élévations qu'on peut donner aux pieces, il ne connoiſſoit pas cependant le

quart de cercle dont on ſe ſert aujourd'hui pour cet uſage.

(*bb*) Pag. 108. Notez que l'opinion diſcutée par Blondel, *dans ſon art de jetter les bombes*, n'eſt point de *Rivaltius* qu'il cite pour ſon auteur; mais de Santbech où *Rivaltius* l'avoit priſe. *Voyez* Santbech, ſect. 6.

(*cc*) Pag. 109. Le réſultat de ſes épreuves fut que le boulet tiré de but en blanc étoit porté à 268 pas lorſque la piece étoit à un point d'élévation (ce qui eſt la douzieme partie du cadran ou $7^{\circ}\frac{1}{2}$) que l'amplitude étoit de 594 pas, à 2 points d'élévation; à trois points de 954; à 4 points de 1010; cinq points de 1040; à ſix de 1053; à 7 points l'amplitude ſe trouvoit entre celles de trois & de quatre points; à 8 points elle étoit entre celles de deux & de trois points; au neuvieme elle étoit entre celles d'un & de deux points: au dixieme point le boulet tomboit entre la piece & la portée du premier point; enfin au onzieme il tomboit tout auprès de la piece. *Voyez* ch. 56, & notez que les pas dont parle cet auteur ne ſont point des pas géométriques; mais des pas ordinaires, comme il le dit lui-même chap. 42.

(*dd*) P. 109. Si on repréſente par 1 la portée de but en blanc, alors à 5. la portée ſera de $2\frac{1}{9}$; à 10 elle ſera $3\frac{1}{7}$; à 15 de $4\frac{1}{5}$, à 20 de $4\frac{1}{7}$: enfin la plus grande portée de $5\frac{1}{2}$: ſi le temps eſt calme on pourra l'avoir en mettant la piece à 42; mais s'il fait du vent, & qu'ainſi il ſoit ou favorable ou contraire au mouvement du boulet, la plus grande portée ſera depuis 30 à 45°. Voyez *ſon art de tirer le gros canon*, ch. 7.

(*ee*) Pag. 110. Son livre eſt intitulé, *le Miroir du Canonier*, & les expériences qu'il rapporte furent la plupart faites au château de Douvre, dont l'Artillerie étoit ſous ſes ordres. Les premieres expériences qu'il a faites ſont datées de 1611; mais ſon livre ne parut qu'en 1646.

(*ff*) Pag. 113. *Voyez* au bas de la page 345 de la premiere édition in-4°, comme auſſi les pages 355 & ſuivantes.

(*gg*) Pag. 117. Voyez n°. 216, p. 68.

(*hh*) Pag. 117. *Voyez* Phil. Nat. Princip. Math. p. 351 ligne 17.

(*ii*) Pag. 117. *Voyez* Comm. Acad. Petrop. t. 2, p. 338, 339.

(*kk*) Pag. 122. *Voyez* Prop. 5, ch. 1, du Traité ſuivant.

# NOUVEAUX PRINCIPES D'ARTILLERIE.

## CHAPITRE PREMIER.

### *De la force de la Poudre.*

### PROPOSITION PREMIERE.

LA poudre à canon enflammée dans l'air ou dans le vuide, produit par ſon exploſion un fluide élaſtique qui ſubſiſte, & agit ſur ce qui l'environne, même après l'exploſion.

*PREUVE.*

Si dans un récipient dont on a pom-

pé l'air, on renferme un fer rouge ſur lequel on laiſſe tomber de la poudre, elle prendra feu, & à l'inſtant de l'exploſion le mercure deſcendra tout à coup de pluſieurs degrés, & quoiqu'il remonte immédiatement, cependant il ne remonte jamais à la hauteur où il étoit d'abord; mais il reſte plus ou moins au deſſous ſuivant la quantité de poudre qu'on a fait brûler. Ce fait eſt confirmé par quantité d'expériences; on peut voir entr'autres celles qu'a fait à ce ſujet M. Hauksbée, dans les Tranſactions philoſophiques n°. 295, (*a*) où il en fait le rapport le plus circonſtancié. Il aſſure que par ce moyen, & faiſant brûler à la fois pluſieurs petits paquets de poudre, il fit deſcendre le mercure de la hauteur de 29 $\frac{1}{2}$ pouces à celle de 12 $\frac{3}{4}$: or cette expérience, qui ne peut être révoquée en doute, en ce qu'elle a été répétée pluſieurs fois, prouve évidemment la vérité de notre propoſition; ſavoir, que par ſon inflammation la poudre produit un fluide élaſtique, qui après l'exploſion ſubſiſte en-

(*a*) On les trouvera à la ſuite de cette Propoſition.

core, & agit ſur ce qui l'environne. En effet, ſi le mercure deſcend, ce ne peut être attribué qu'à la preſſion de quelque nouveau fluide, qui, répandu dans le récipient, balance en partie la preſſion de l'air extérieur; & il eſt évident que puiſque la preſſion continue toujours de ſe faire après l'exploſion de la poudre, le fluide qu'elle a produit continue d'exciter & d'agir ſur le mercure : il paroît par ce que rapporte Mr. Hauksbée dans le même endroit, que le mercure remonta après être deſcendu à l'inſtant que ſe fit l'exploſion; cependant le lendemain il n'étoit qu'à 22 pouces $\frac{1}{2}$, & il ſembloit qu'il s'étoit fixé à ce point-là. Cette même expérience prouve auſſi l'élaſticité du fluide contenu dans le récipient, puiſque ſa gravité ſeule n'eût jamais pu faire deſcendre le mercure de la plus petite hauteur. Il s'enſuit auſſi, que le même fluide ſe dilate également dans quelque eſpace qu'il ſoit renfermé; l'expérience réuſſiſſant dans un grand comme dans un petit récipient. Seulement plus le récipient aura de capacité, moins la deſcente du mercure ſera ſenſible, en ſuppoſant qu'on

brûle toujours la même quantité de poudre; car il eſt certain que la preſſion d'un fluide doit diminuer dans le rapport de ſa denſité.

On peut encore ſe convaincre d'une autre maniere de la vérité de notre propoſition. Soit pour cela un tube de verre dont l'extrêmité ſoit plongée dans l'eau, & dont le ſommet ſoit rempli d'un peu de poudre, ſi on fait monter l'eau juſqu'à ce qu'il n'y ait entr'elle & la poudre qu'une petite portion d'air, & qu'enſuite on mette le feu à la poudre (ce qui peut toujours ſe faire aiſément par le moyen d'un miroir ardent) à l'inſtant de l'exploſion l'eau deſcendra dans ce tube, comme le mercure avoit deſcendu dans l'autre, elle continuera de ſe tenir au deſſous du degré où elle s'étoit d'abord élevée; & la preſſion qu'elle éprouvera ſera d'autant plus conſidérable que la quantité de poudre ſera plus grande ou que le diametre du tube ſera plus petit; dans l'un & dans l'autre cas la poudre produit donc par ſon exploſion un fluide élaſtique qui ſubſiſte après l'exploſion même.

*EXPÉRIENCE faite par Mr. HAUKSBÉE, & rapportée dans les Tranſactions philoſophiques.* v. 4, p. 173 *de l'année 1700 à 1720.*

Ayant renfermé un fer chaud dans un récipient préparé pour cela, & dont on pompa l'air auſſi-tôt (ce qui ſe fait dans deux minutes à peu près) le mercure dont le tube étoit dans le récipient ſe trouvant à la hauteur de 29 pouces $\frac{1}{2}$, on fit tomber ſur le fer rouge une petite quantité de poudre, & on remarqua qu'elle ne s'enflammoit pas tout de ſuite ; mais que les parties qui la compoſoient brûlerent l'une après l'autre, & que la derniere qui prenoit feu, jettoit le plus de flamme.

Dans ce même inſtant le mercure deſcendit d'un pouce & quelque choſe de plus, & remonta auſſi-tôt, à peu près de $\frac{3}{10}$, de la hauteur dont il étoit deſcendu : on pompa ce nouveau fluide qui rempliſſoit le récipient, & faiſant brûler une quantité de poudre égale à la premiere, on fit encore les mêmes obſervations, & cette expérience fut

répétée plusieurs fois, afin de s'en mieux assurer. Cet air artificiel ayant ensuite été pompé (ce qui fit remonter le mercure à 29 P ½), on fit tomber sur le fer rouge trois fois autant de poudre qu'on en avoit brûlé la premiere fois, l'explosion & l'air qu'elle produisit se trouverent être proportionnels à sa quantité, & le mercure descendit jusqu'à 26P: on recommença l'expérience avec six quantités de poudre chacune aussi égale à la premiere ; mais on observa de les faire tomber sur le fer rouge successivement & immédiatement l'une après l'autre ; de sorte, que les premieres parties s'étant enflammées communiquerent le feu à tout le reste, & l'explosion se faisant tout à coup, le récipient sauta, quoiqu'il fût pressé par une colonne d'air du poids de 144 livres ½, en supposant le diametre du récipient seulement de trois pouces & demi, quoiqu'il eût quelque chose de plus ; ce qui compensoit en quelque sorte la hauteur qui manquoit au mercure, dont le tuyau n'avoit que 29 P ½ au lieu de 30, qui étoit l'élévation pour laquelle on avoit fait le calcul. La poudre dont on se servit étoit en

grain, & de la force ordinaire. Le poids de ſix quantités de poudre qui firent ſauter le récipient n'étoit que de ſept grains ; de ſorte que chaque partie peſoit un peu plus d'un grain ; il ne me parut pas que le récipient fût caſſé avant qu'il fût tombé à terre. Tout le verre en étoit obſcurci par une vapeur ſulphureuſe & nitreuſe, il n'étoit preſque plus tranſparent, & la flamme de la poudre ne paroiſſoit au travers, que comme de foibles éclairs.

On remarquera que le récipient pouvoit contenir 25 ᵖ & demi d'eau, y compris le volume du fer & du piedeſtal.

## SCHOLIE.

On a généralement reconnu depuis les obſervations de Mr. Boyle, que pluſieurs ſubſtances par leur mêlange, & autres opérations Chymiques produiſent quelquefois des fluides élaſtiques, dont pluſieurs effets approchent beaucoup de ceux de l'air ordinaire. On ſait pareillement que d'autres ſubſtances étant mêlées enſemble, abſorbent d'elles-mêmes une partie de l'air qui les environne;

& on a obſervé particuliérement que tout corps en feu, & toute fumée ſulphureuſe, détruit une grande quantité d'air, ſoit en l'abſorbant, ſoit en lui ôtant ſon élaſticité. Derniérement encore Mr. Halley a fait ſur ces deux objets des expériences pleines d'exactitude, & qu'on peut voir dans ſes Statiques végétales. Or en ſuivant ces principes, il eſt évident que dans la derniere expérience la fumée ſulphureuſe produite par l'inflammation du charbon & du ſoufre, doivent bientôt abſorber une partie de l'air dans lequel la poudre eſt enflammée. Il faut donc faire enſorte que la maſſe d'air dans laquelle la poudre eſt placée, ſoit avec elle dans le plus petit rapport poſſible, de crainte que la trop grande quantité d'air abſorbé n'empêchât le ſuccès de l'expérience. Il eſt une autre raiſon, pour laquelle on doit rendre auſſi petite qu'il eſt poſſible la maſſe d'air, dans laquelle la poudre eſt enflammée ; c'eſt qu'à l'inſtant de l'exploſion le feu en augmentera tellement l'élaſticité, & par conſéquent la preſſion, que cette nouvelle force jointe à celle du fluide

produit par la poudre ſeroit capable de faire crever le tube.

*EXPÉRIENCE de M. HAUKSBÉE, pour connoître la quantité d'air que la poudre produit par ſon inflammation, rapportée n°. 295, p. 1807.*

La derniere expérience faite devant la Société ſur l'inflammation de la poudre dans le vuide, fit naître la penſée d'éprouver ſi l'air produit par la poudre avoit quelque propriété différente de celles de l'air ordinaire. En conſéquence, je renfermai un fer chaud dans le vuide, le mercure étant dans le tube à 29 $^{p}\frac{1}{2}$, je fis tomber ſur le fer chaud une quantité de poudre un peu plus peſante qu'un grain ; & ſon exploſion fit deſcendre le mercure d'environ un pouce, mais ſans lui faire faire qu'une très-petite ondulation. Une ſeconde quantité de poudre égale à la premiere fit deſcendre le mercure à peu près de $\frac{3}{4}$ de pouces, & il deſcendit ainſi d'environ ſix ou ſept pouces, parcourant chaque fois qu'on brûloit une nouvelle quantité de poudre des eſpaces à peu

près égaux : on remarquera cependant qu'à meſure qu'il deſcendoit les ondulations augmentoient ; & lorſqu'il eut paſſé 6 à 7 pouces, les abaiſſements du mercure commencerent à diminuer conſidérablement ; il ne deſcendoit plus que de la moitié d'un pouce, quoique les quantités de poudre qu'on brûloit fuſſent toujours égales. Les ondulations au contraire, augmentoient toujours & les exploſions ſe faiſoient toujours avec autant de force, juſqu'à ce qu'enfin le récipient ſe trouvant fort plein, on craignit de le faire ſauter ſi on brûloit une nouvelle quantité de poudre. On en avoit brûlé pour lors 26 ou 32, le mercure étoit deſcendu juſqu'à douze pouces & trois quarts, & ſes ondulations étoient augmentées de 6 à 7 $^{p}$ : je m'attachai alors à obſerver avec attention les mouvements que feroit le mercure, qui dans 7 minutes étoit remonté de deux pouces & $\frac{3}{4}$ ; dans les 5 minutes ſuivantes, il ne s'éleva que d'un pouce & un quart, ainſi de 5 minutes en cinq minutes il continua de s'élever à des hauteurs qui alloient toujours en diminuant, & après une heure 17 minutes,

il n'étoit encore qu'à 21 pouces, le fer n'étant pas encore tout-à-fait froid.

A 9 heures du même ſoir le mercure étoit à 22 pouces & un quart, & le lendemain matin, il étoit parvenu à 22 pouces & demi; il continua ainſi toute la journée de s'élever fort lentement, le fer étant alors réduit au même degré de chaleur que l'air qui environnoit le récipient. On voit donc clairement, que c'étoit là chaleur qui avoit fait deſcendre le mercure de la hauteur compriſe entre 22 pouces & demi, & douze pouces & $\frac{3}{4}$, & qu'elle étoit capable de ſoutenir environ le tiers de la colonne d'air qui preſſoit la partie extérieure du tube. Les autres 7 pouces dont le mercure ſe trouvoit encore être deſcendu, ne peuvent être attribués qu'à l'air artificiel dont le récipient étoit rempli, & qui étoit égal à peu près à la quatrieme partie de l'air que pouvoit contenir le récipient, dont la capacité étoit de 25 onces & demie d'eau commune; en rabattant une quantité égale au volume du fer & du piedeſtal. J'ai remarqué que cet air produit par l'exploſion de la poudre avoit les mêmes

effets que l'air ordinaire, ſoit qu'il fût échauffé, ſoit qu'il fût refroidi. Car en appliquant ſur le récipient ma main que j'avois échauffée, je faiſois deſcendre le mercure qui remontoit enſuite, à meſure que la chaleur que j'avois donnée à l'air du récipient commençoit à ſe diſſiper. J'ai répété pluſieurs fois la même choſe, & toujours j'ai remarqué les mêmes effets : dans l'expérience que nous venons de rapporter, ce qui frappe le plus & qu'on deſireroit connoître, c'eſt la raiſon pour laquelle l'exploſion de la poudre eſt plus forte dans l'air que dans le vuide, où il ſemble que rien n'empêche l'extenſion de la flamme.

## PROPOSITION SECONDE.

Expliquer plus particuliérement les circonſtances qui accompagnent l'exploſion de la poudre à canon, ſoit dans le vuide, ſoit dans l'air lorſqu'elle eſt enflammée de la maniere dont on l'a ſuppoſé dans la Propoſition précédente.

SOLUTION

## SOLUTION.

Lorſque dans un récipient dont on a pompé l'air on enflamme par le moyen d'un fer chaud une certaine quantité de poudre, le mercure deſcend à l'inſtant même de l'exploſion, & remonte enſuite après un certain nombre de vibrations, dont la premiere ſeule eſt ſenſible ; mais il ſemble qu'il ſe fixe enſuite à un point au deſſous du premier où il étoit élevé, (& c'eſt ce point que nous avons obſervé avec le plus d'attention dans toutes nos expériences) ; mais quoiqu'il paroiſſe qu'il ſoit en repos, il continue cependant pendant un temps conſidérable de s'élever inſenſiblement ; de maniere qu'on ne peut s'en appercevoir qu'en comparant enſemble ſes différentes poſitions, après de longs intervalles ; néanmoins il s'arrête enfin, & toujours à un point au deſſous de celui où il étoit avant l'inflammation de la poudre.

La même circonſtance aura lieu ſi l'on enflamme de la poudre dans la partie ſupérieure d'un tube dont on a pompé l'air, & dont la partie inférieure eſt plongée dans l'eau.

Ce n'eſt qu'aux différentes modifications du fluide produit par la poudre qu'on peut attribuer toutes ces variations ; à l'inſtant où la poudre eſt enflammée, l'action de ce fluide oblige le mercure de deſcendre avec précipitation ; mais lorſque la flamme eſt éteinte, la chaleur étant de beaucoup diminuée en un temps fort court, le fluide n'a plus la même élaſticité, & le mercure doit remonter preſqu'immédiatement après être deſcendu ; & enfin lorſque le fluide contenu dans le récipient eſt réduit à la température de l'air qu'il contient, ſon élaſticité devenant plus fixe & plus invariable ; le mercure, comme il arrive, doit paroître immobile, & s'il monte enſuite aſſez lentement, ce doit être attribué au refroidiſſement du fer rouge qui eſt contenu dans le récipient, & plus encore à la fumée du ſoufre & du charbon, qui abſorbant une partie du fluide, doit diminuer ſa preſſion ſur le mercure.

## SCHOLIE.

Nous démontrerons dans les propoſitions ſuivantes que la force de la pou-

dre à canon, n'eſt autre choſe que la preſſion du fluide qu'elle produit, & que le fluide dans ſon action obſerve la même loi que tout autre fluide élaſtique, & particuliérement l'air. De ſorte qu'on peut connoître la force d'une certaine quantité de poudre enflammée, en lui ſubſtituant une quantité d'air égale à celle du fluide qu'elle avoit produit, renfermé dans un même eſpace, & échauffé au même degré que l'étoit ce fluide à l'inſtant de ſon exploſion. Mr. Hales, qui a fait les expériences les plus exactes, ſur celui qui eſt produit par le Tartre, aſſure dans ſes cours de Chymie, que le poids de ces ſortes de fluides eſt égal à celui de l'air ordinaire.

Il a trouvé auſſi que la chaleur les dilate, & le froid les condenſe avec la même force, & au même degré que l'air; & que lorſqu'ils ſont purgés de la fumée ſulphureuſe qui les accompagne, ( ce qui ſe fait en les faiſant paſſer à travers de l'eau ) ils ſe conſervent alors des mois & même des années entières, ſans que leur élaſticité ſoit conſidérablement diminuées. De toutes ces obſer-

vations, il conclut à n'en pouvoir douter, que ces fluides ſont un air véritable auſſi permanent que l'air ordinaire : or ſi on ſuppoſe une telle propriété aux fluides produits par diſtillation, inflammation, &c. à plus forte raiſon doit-on l'accorder à ce fluide produit par l'exploſion de la poudre à canon. En effet, comme ni le charbon, ni le ſoufre enflammé en particulier ne peuvent le produire, c'eſt à l'inflammation ſeule du ſalpêtre qu'on doit l'attribuer, & on ſait que le ſalpêtre eſt une ſubſtance que la terre tire de l'air. Car la même terre expoſée au grand air pourra toujours fournir du ſalpêtre, ſans jamais ſe trouver épuiſée ; mais quoiqu'il en ſoit, nos concluſions n'en ſeront pas moins vraies. Il nous ſuffit que ce ſoit un fluide élaſtique ; qu'il ſoit un air véritable, ou non, notre raiſonnement ſera conſtamment le même, puiſque c'eſt ſur des expériences, & non ſur la ſimple ſpéculation de la nature que ſera fondé, ce que nous déduirons par rapport à ſa force & à ſon action.

## PROPOSITION III.

L'élaſticité ou la preſſion du fluide produit par l'inflammation de la poudre à canon, eſt, toutes choſes égales d'ailleurs, comme ſa denſité.

### SOLUTION.

Deux quantités de poudre étant jettées dans un récipient, doivent faire baiſſer le mercure d'une hauteur double de celle dont il ſeroit deſcendu ſi l'on n'en eût jetté qu'une ſeule, & comme la preſſion ou élaſticité du fluide s'eſtime toujours par la deſcente du mercure, l'élaſticité dans le premier cas ſera double de ce qu'elle eût été dans le ſecond; mais la vapeur produite par les deux quantités étant contenue dans le même récipient, ſa denſité ſera double de celle du fluide produit par une ſeule quantité. La preſſion eſt donc directement comme la denſité : d'ailleurs les quantités de poudres étant égales, la preſſion ſera réciproquement, comme la grandeur du récipient, & par conſéquent directement comme la denſité.

Mais comme on a coutume de faire ces expériences avec de petites quantités de poudre, on n'a pas pu assigner ce rapport avec exactitude. J'ai donc pris un vaste récipient contenant à peu près 520 pouces, j'y fis brûler par le moyen d'un fer rouge une dragme ou le $\frac{1}{16}$ d'une once de poudre avoir du poids (la livre étant supposée de 16 onces) toute la poudre s'enflamma, & le mercure baissa de deux pouces : ensuite ayant fait rechauffer le fer, & pompé l'air du récipient une seconde fois, je fis brûler deux dragmes, & le mercure s'abaissa de trois pouces & $\frac{3}{4}$; mais il faut remarquer qu'une petite partie de la poudre étant tombée à côté du fer ne prit point feu à cause que le fond étoit humide, & elle me parut être à peu près suffisante pour faire baisser le mercure de $\frac{1}{4}$ de pouce; & comme alors le mercure seroit descendu de 4 pouces, il s'ensuit que les densités sont entr'elles, comme les quantités de poudre ; & par conséquent que l'élasticité du fluide produit par l'inflammation de la poudre est directement proportionnelle à sa densité.

## PROPOSITION IV.

Déterminer l'élaſticité & la quantité du fluide produit par l'inflammation d'une quantité de poudre donnée.

### *SOLUTION.*

Comme des différentes eſpeces de poudres doivent produire différentes quantités de fluides, à raiſon de leurs différents degrés de bonté, il n'eſt pas poſſible de rien déterminer, ſi l'on ne fixe auparavant l'eſpèce de poudre dont on ſe propoſe de faire uſage : ainſi je ſuppoſerai dans toutes mes obſervations & expériences, que la poudre que j'emploie eſt celle dont on ſe ſert pour le gouvernement, dans la compoſition de laquelle entrent toujours les mêmes matieres, ſuivant une proportion connue & invariable, d'autant mieux que je la crois beaucoup plus propre pour cet effet, que celle qui ſeroit compoſée ſuivant l'imagination arbitraire d'un Artiſte.

Cela poſé, il nous faut encore ſuppoſer les deux principes, dont nous

avons déjà parlé dans la Scholie de la Propoſition 2^e^. ſavoir, 1°. que l'élaſticité du fluide produit par l'inflammation de la poudre eſt augmentée par la chaleur, & diminuée par le froid, ainſi que celle de l'air ordinaire : 2°. que la denſité, & par conſéquent le poids de ce fluide eſt le même que celui d'un égal volume d'air, puiſqu'il a même degré de chaleur & même élaſticité. Ces principes établis, on a vu par les expériences citées dans la Propoſition 3^e^. que $\frac{1}{16}$ d'une once de poudre, la livre étant de 16 onces, ou à peu près 27 grains *troy* de poudre, (la livre étant de 12 onces) avoit par ſon inflammation fait deſcendre de deux pouces le mercure qui étoit dans un tube de 30 pouces. Donc $\frac{15}{16}$ d'une once (poids de France) ou 410 grains, (le poids n'ayant que 12 onces à la livre) auroient rempli le récipient d'un fluide dont la preſſion eût été égale à celle de l'athmoſphere ou de l'air que nous reſpirons ; & comme le récipient étoit de 520 pouces cubes $\frac{15}{16}$ d'une once de poudre, produiront 520 pouces cubes d'un air qui aura autant d'élaſticité que l'air ordi-

naire, & une once pourra produire à peu près 575 pouces cubes d'un pareil fluide.

Mais pour pouvoir connoître la denſité de ce même fluide, il s'agit de déterminer quel degré d'élaſticité il a reçu du fer rouge, ou de la chaleur renfermée dans le récipient. Or la chaleur du récipient étant moindre que celle de l'eau bouillante qui, comme on ſait, augmente l'élaſticité de l'air d'un quart de ce qu'elle eſt ordinairement, & de quelque choſe de plus, j'en ai conclu, ainſi que de quelques autres obſervations, que l'augmentation de l'élaſticité du fluide contenu dans le récipient étoit à peu près $\frac{1}{5}$ de ſon élaſticité, telle qu'elle eſt lorſqu'il eſt réduit à la même température que l'air extérieur. C'eſt-à-dire, que dans ce dernier cas le mercure ſeroit deſcendu d'un pouce $\frac{3}{5}$ & non de 2 pouces. Si je prends donc les $\frac{1}{5}$ de 575, ce qui me donne 460, je connoîtrai combien de pouces cubes d'un fluide égal à l'air ordinaire, en élaſticité & en denſité, peut produire par ſon inflammation une once de poudre (poids de France), & le poids

de ce fluide ſe pouvant eſtimer, comme celui de l'air, 460 pouces cubes peſeront 131 grains, ce qui revient à $\frac{131}{437}$ ou à peu près $\frac{3}{10}$ du poids de la poudre.

Si l'on demande le rapport de la maſſe de la poudre à la maſſe de ce fluide. On le déterminera en obſervant qu'une once & une dragme de poudre ou 17 dragmes rempliroient exactement deux pouces cubes. Donc multipliant par 17, & deviſant par 16 le nombre de pouces cubes de ce fluide, que produit une once, 488 $\frac{3}{4}$ exprimera le nombre de pouces cubes du même fluide que peuvent produire deux pouces cubes de poudre.

Par conſéquent, la maſſe de la poudre ſera en nombre entier à celle de l'air qu'elle produit, comme 1 eſt à 244.

Pour confirmer ce raiſonnement, j'enflammai quatre fois de ſuite, avec un miroir ardent, une dragme de poudre dans un récipient dont j'avois ôté l'air, & dont la capacité étoit de 470 pouces cubes. Cette expérience étoit plus difficile à exécuter, que celle où l'on ſe ſervoit d'un fer rouge, parce que la

poudre étoit plus long-temps à prendre feu, & que pendant cet intervalle l'air s'insinuoit dans le récipient, & contribuoit à faire descendre le mercure. D'ailleurs près du quart de la poudre étoit ordinairement dispersée par l'explosion du reste, & ne prenoit point feu ; néanmoins ayant ramassé la poudre qui n'avoit pas brûlée, & l'ayant pesée, je supposai l'abaissement du mercure augmenté d'une quantité proportionnelle à ce poids, & je trouvai que la premiere dragme par son inflammation avoit fait baisser le mercure de 2, 1 de pouces. La seconde de 1,8, la troisieme de 2,1 ; & la quatrieme 1,85, ou prenant un milieu, le mercure se trouva être descendu de 1,96 de pouces ; & multipliant par 520 & divisant par 470, j'aurai 1,77 de pouces, qui exprimera la hauteur dont le mercure seroit descendu dans le premier récipient (la quantité de poudre étant supposée la même). Or dans ce cas-ci l'augmentation de l'élasticité du fluide à cause de la chaleur, étoit fort peu de chose, puisque cette chaleur n'étoit pas différente de celle qu'on éprouve en été,

(ce que je connus en introduiſant un petit thermometre dans le récipient) multipliant donc 1, 77 par $\frac{12}{13}$ qui eſt le rapport de l'élaſticité de l'air tempéré, à celle de l'air en été, j'aurai à peu près 1, 63 qui approche beaucoup de 1 $\frac{3}{5}$ ou 1, 6 que nous avions trouvé dans l'expérience précédente. Par conſéquent on pourra toujours ſuppoſer que la maſſe de la poudre, eſt à celle du fluide qu'elle produit comme 1 eſt à 244.

Ce rapport s'accorde très-bien avec les expériences qu'a cité Mr. Hauksbée dans ſes expériences Phyſico-Méchaniques, pag. 81. Car il a trouvé qu'un grain de poudre lorſqu'il eſt enflammé dans l'air, produit un pouce cube de fluide élaſtique; d'où il conclut, en ſuppoſant la denſité de la poudre dans le rapport que nous avons aſſigné, que les maſſes reſpectives de la poudre & du fluide qu'elle produit ſont, comme 1 eſt à 232. Or cette différence qui ſe trouve entre ce rapport, & celui que nous avons déterminé, peut provenir aiſément de la différence ſeule de la poudre. Il paroît par-là que l'air qui environne la poudre à l'inſtant de l'in-

flammation n'influe aucunement ſur la production du fluide, puiſque la même quantité de poudre a donné la même quantité de fluide dans l'air & dans le vuide ; ſi maintenant on ſuppoſe ce fluide renfermé dans un eſpace auſſi petit que celui de la poudre qui l'a produit, alors (ſon élaſticité étant comme ſa denſité) ce fluide aura 244 fois plus d'élaſticité que l'air ordinaire, & cela indépendamment de la grande élaſticité que le feu lui communique dans cet inſtant. Il eſt donc très-ſûr qu'une quantité de poudre enflammée dans un eſpace qu'elle remplit exactement, exerce à l'inſtant de ſon explosion contre les parois qui la renferment, une force plus grande que celle de l'air ordinaire, ou, ce qui revient au même, que la preſſion de l'athmoſphere ; & cela ſans avoir égard à la nouvelle force que la chaleur lui communique, & que nous allons déterminer dans la Propoſition ſuivante.

## PROPOSITION V.

Déterminer de combien l'élaſticité de l'air eſt augmentée par la plus grande chaleur poſſible d'un fer rouge.

### *Solution.*

Pour trouver cette augmentation, j'ai pris un morceau de canon de fuſil, long d'environ 6 pouces. J'en fis boucher une des extrêmités, & l'autre je la fis alonger en forme de cône tronqué qui finiſſoit par une ouverture dont le diametre étoit environ d'un 8e de pouce. Ce tube, ainſi conſtruit, fut échauffé dans une forge à l'extrêmité d'un fer, enſuite de quoi on le plongea par ſa partie conique dans un baquet d'eau, où on le tint dans cette ſituation juſqu'à ce qu'il fût froid. L'eau qui y étoit entrée pendant qu'il refroidiſſoit fut peſée exactement; & dans trois épreuves différentes qu'on fit, le poids de cette eau ſe trouva être de 610, 595, & 600 grains, le poids de toute l'eau que pouvoit contenir le tube étant de 796 grains. D'où l'eſpace qui reſtoit

à remplir dans ces trois expériences étoit égal à 186, 201, 196 grains d'eau; & cet eſpace ſans doute, contenoit tout l'air qui, lorſque le tube étoit rouge, ſe dilatoit dans ſa concavité; & par conſéquent l'élaſticité de l'air échauffé par la plus grande chaleur d'un fer rouge, étoit à l'élaſticité du même air réduit à la température de l'athmoſphere, comme la capacité du tube étoit aux eſpaces occupés par l'air refroidi, c'eſt-à-dire, comme 796 eſt à 186, 201, 196: ou prenant un terme moyen entre ces trois épreuves, comme 796 eſt à 194 $\frac{1}{3}$; la chaleur du tube dans ces trois expériences étoit au commencement ce que les ouvriers appellent chaleur blanche; & pour empêcher qu'au moment de l'immerſion, la vapeur de l'eau échauffée en entrant avec précipitation dans le vuide qu'elle rencontroit ne fît ſortir une partie de l'air, j'avois une baguette de fer en forme de cylindre, qui étoit juſte à l'ouverture du tube que j'avois ſoin de fermer par ce moyen lorſqu'il étoit rouge & de n'ouvrir que lorſqu'il étoit parfaitement froid, afin qu'il n'y entrât alors que l'eau qui devoit y entrer.

## PROPOSITION VI.

Déterminer combien l'élaſticité du fluide, produit par l'inflammation de la poudre à canon, eſt augmenté par la chaleur du feu à l'inſtant de l'explo-ſion.

### SOLUTION.

Comme l'air & ce fluide paroiſſent être également affectés par la chaleur & par le froid, leur élaſticité doit augmenter également, lorſqu'ils ſont échauffés à un même degré de chaleur; ſi nous ſup-poſons donc que la chaleur de la pou-dre à l'inſtant de l'inflammation, ſoit la même que celle d'un fer rouge, alors l'élaſticité du fluide qu'elle produit ſera à celle qu'auroit ce même fluide, s'il étoit réduit à la température de l'ath-moſphere, à peu près comme 796 eſt à 194 $\frac{1}{3}$, ſuivant la loi qu'obſerve l'élaſ-ticité de l'air ordinaire dans les circonſ-tances que nous avons ſuppoſées dans la Propoſition précédente : or il eſt aſſez évident que la chaleur de la poudre enflammée eſt pour le moins auſſi grande

que

que celle d'un fer rouge, tant à cauſe des propriétés connues de quelques-unes des quantités qui la compoſent, que parce que le feu produit par l'inflammation de la poudre, n'a pas certainement moins d'action que le feu ordinaire; or tout feu pourra faire rougir un fer, ſi la groſſeur de l'un eſt proportionnée à la quantité de l'autre, par conſéquent, le feu que la poudre produit aura toujours autant de chaleur que le fer rouge. Cela poſé, & l'élaſticité du fluide, à l'inſtant de l'exploſion étant à celle qu'il doit avoir lorſqu'il n'a d'autre degré de chaleur que celui du reſte de l'air, comme 194, $\frac{1}{3}$ eſt à 796; ſi maintenant on multiplie 244, par ce rapport on aura un nombre 999 $\frac{1}{3}$, qui exprimera de combien l'élaſticité de ce fluide renfermé dans un eſpace égal à celui où la poudre étoit contenue, eſt plus grande que celle de l'air ordinaire. En effet, le principe démontré dans la 3^e. Prop. étant poſé, ſi nous multiplions 244, par le rapport qui exprime l'augmentation d'élaſticité cauſée par la chaleur de la poudre enflammée, on aura un nombre qui fera connoî-

tre combien l'élaſticité de ce fluide, ainſi comprimé à l'inſtant de l'exploſion, eſt plus grande que celle de l'air ordinaire.

On peut donc toujours déterminer la preſſion, & la force de la poudre à canon, à l'inſtant de l'exploſion même. Car l'élaſticité de ce fluide eſt 999 & $\frac{1}{3}$ de fois ou en nombre entier 1000 fois plus grande que celle de l'air, & l'air par ſon élaſticité exerce ſur une ſurface quelconque donnée, une preſſion égale à celle d'une colonne d'air de toute la hauteur de l'athmoſphere, puiſqu'il eſt en équilibre avec elle; donc la preſſion qu'exerce la poudre à l'inſtant de l'exploſion eſt 1000 fois plus grande que celle de l'athmoſphere, & par conſéquent cette preſſion ſur une ſurface d'un pouce quarré, ſera égale à celle d'un poids de 1536 livres; mais il faut obſerver, que cette force diminue lorſque le fluide ſe dilate davantage, & c'eſt ce que nous avions déja démontré dans la Propoſition 3^e.

*SCHOLIE.*

Quoique nous ayions ſuppoſé que la

chaleur de la poudre à canon, lorſqu'elle eſt enflammée en grande quantité, ſoit la même que celle d'un fer rouge prêt à ſe mettre en fuſion (ce que nous confirmerons dans la ſuite par pluſieurs expériences), il eſt certain néanmoins que la flamme de la poudre, (ainſi que celle de tout autre feu) ſera d'autant plus ardente, que la quantité de matiere enflammée ſera plus grande; de maniere qu'on peut ſuppoſer que, ſelon la quantité de poudre enflammée, la flamme qu'elle produit peut acquérir tous les différents degrés de chaleur, qui affectent ſucceſſivement un morceau de fer avant qu'il ſoit aſſez chaud pour tomber en fuſion; mais pour que la poudre pût acquérir une chaleur auſſi violente, il faudroit enflammer à la fois une quantité de poudre plus grande que celles dont on ſe ſert jamais dans les opérations militaires. Nous trouverons par l'expérience que nous allons faire, que nous ne nous ſommes gueres éloignés, lorſque nous avons ſuppoſé que la chaleur de la quantité de poudre qu'on emploie ordinairement, eſt égale à celle d'un fer rouge, obſervant que cette

chaleur augmenteroit, ſi la quantité de poudre étoit plus conſidérable, & diminueroit auſſi ſi elle diminuoit.

## PROPOSITION VII.

Les dimenſions d'une piece d'Artillerie étant données, ainſi que la charge & la denſité du boulet, déterminer la vîteſſe qu'acquiert le boulet en ſuppoſant qu'on connoiſſe quelle eſt l'élaſticité du fluide, produit par la poudre au premier inſtant de ſon inflammation.

### SOLUTION.

Avant de réſoudre ce problême, nous poſerons deux principes ; ſavoir 1°. que la poudre ceſſe d'agir ſur le boulet auſſi-tôt qu'il eſt hors de la piece : 2°. que toute la poudre de la charge eſt enflammée & convertie en fluide, avant que le boulet ſoit ſenſiblement mis en mouvement : nous les démontrerons enſuite dans la Scholie qui ſuivra cette Propoſition ; maintenant nous nous contenterons de les ſuppoſer vrais ; & partant delà nous réſoudrons ainſi ce pro-

blême : qu'AB repréſente l'axe d'une piece d'Artillerie, que A ſoit la culaſſe, B la bouche, DC le diametre de ſon calibre, & DEGC, la partie de ſa cavité remplie de poudre. Si on ſuppoſe que le boulet s'appuye dans le canon ſur la ligne GE, la preſſion exercée ſur le centre par lequel paſſe le diametre GE, ou ce qui eſt le même, la preſſion exercée ſur la ſurface du boulet ſuivant la ligne FB, ſe pourra aiſément connoître par les dimenſions du cercle auquel appartient GE. Pour cet effet, ſoit tirée la ligne FH perpendiculaire à FB, & AI parallele à FH ; maintenant, ſi par le point H & entre les aſſimptotes IA & AB, je décris une hyperbole KHNQ, ſi FH repréſente la force imprimée au boulet au point F, la force imprimée au même boulet dans un autre point M ſera repréſentée par la ligne MN ordonnée à l'hyperbole au même point M. Car c'eſt à ce point que ſe dilatera le fluide, qui pouſſe le corps en avant ; produit dans l'eſpace DEG il aura une denſité qui ſera en raiſon

réciproque des eſpaces à travers leſquels il ſe dilate ; c'eſt-à-dire, comme FA : MA ou comme MN : FH. Mais nous avons démontré ( Prop. 2. ) que l'élaſticité ou la force de ce fluide eſt directement comme ſa denſité, & par conſéquent ſi FH repréſente cette force au point F, MN repréſente une pareille force au point M.

Puiſqu'on connoît & la quantité abſolue de force qui pouſſe le boulet au point F, & le poids du boulet, on connoîtra auſſi le rapport qui eſt entre ce poids & la force qui le pouſſe. Soit donc coupée FH au point L, de maniere que les parties FH & FL ſoient dans ce rapport, ſi l'on tire LP parallele à FB, alors la ligne MN ordonnée à l'hyperbole eſt à ſa partie MR coupée par la droite LP, comme la force de la poudre au point M eſt à la gravité du boulet, & conſéquemment la ligne LP déterminera une ligne proportionnelle à la force uniforme de la gravité dans chaque point, & l'hyperbole HNQ déterminera pareillement les différentes ordonnées proportionnelles à la force de la poudre dans chaque point. Delà par la

39^e. Prop. du l. 1, de Mr. Newton, *Principes Math. de la Philoſ. Natur.* les aires FLPB & FHQB ſont en raiſon doublée des vîteſſes que le boulet acquiert, lorſqu'il agit par ſa propre gravité à travers l'eſpace FB, & lorſqu'il eſt pouſſé à travers le même eſpace par la force de la poudre ; mais puiſque le rapport de AF à AB eſt connu, ainſi que celui de FH à FL, le rapport des aires FLPB & FHGB ſera auſſi connu, on connoîtra donc auſſi ſon rapport ſous-doublé. Puiſque la ligne FB eſt donnée de grandeur, la vîteſſe qu'acquerroit le corps par ſa propre gravité en ſuivant cette ligne ſera auſſi connue, étant la même que la vîteſſe qu'il acquerroit en tombant à travers un eſpace égal à cette ligne ; ſi l'on trouve maintenant une vîteſſe qui ſoit en raiſon ſous-doublée avec celle dont nous venons de parler, comme l'aire FLPB eſt à FHQB. Cette vîteſſe ſera celle que le boulet acquerra lorſqu'il ſera pouſſé par le fluide élaſtique à travers l'eſpace FB. Pour en donner un exemple, ſuppoſons que l'ame de la piece ſoit de 45 pouces, que le diametre de la piece ou plutôt du boulet

ſoit de $\frac{3}{4}$ de pouce, que la longueur AF de la charge ſoit de 2 pouces & $\frac{5}{8}$; cela poſé, ſi l'on veut déterminer la vîteſſe communiquée par l'exploſion à la balle de plomb, il faudra procéder ainſi.

Il paroît par la théorie que nous avons établie dans la derniere Propoſition que le fluide élaſtique, à l'inſtant de l'exploſion, exercera ſur la balle une force 1000 fois plus grande que celle de l'athmoſphere; mais la preſſion moyenne de l'athmoſphere eſt à peu près égale à celle d'une colonne de 33 pieds d'eau en hauteur, & la denſité de l'eau eſt à celle du plomb, comme 1 eſt à 11, 345, donc cette preſſion ſera égale à celle d'une colonne de plomb de 34, 9 de pouces de hauteur; & multipliant ce nombre par 1000, on aura une colonne de plomb de 34900 pouces de hauteur, dont la preſſion ſera égale à celle qu'exerce le fluide ſur la balle au premier inſtant de l'exploſion. Mais la balle de plomb ayant $\frac{3}{4}$ de pouces de diametre ſera égale à un cylindre, qui auroit pour baſe un grand cercle de cette petite ſphere, & pour hauteur un demi-pouce. Donc la preſſion agiſſante ſur ce corps

ſera égale à 34900 × 2 ou 69800 fois ſon poids. Par conſéquent FL eſt à FH comme 1 eſt à 69800; & FB eſt à FA comme 45-2 & $\frac{5}{8}$ ou 42 $\frac{3}{8}$ eſt à 2 $\frac{5}{8}$; c'eſt-à-dire, comme 339 eſt à 21. Delà le rectangle FLPB, eſt au rectangle AFHS, comme 339 eſt à 21 × 69800, c'eſt-à-dire, comme 1 eſt à 4324 en nombre entier; & par conſéquent ſe ſervant des logarithmes hyperboliques, on trouvera que le rectangle AFHS eſt à l'aire FHQB, comme 0,43429,&c. eſt au nombre qui, dans les tables logarithmiques répond à $\frac{AB}{AF}$ c'eſt-à-dire, $\frac{360}{21}$, lequel nombre ſera 1, 2340579, & par conſéquent le rapport du rectangle FLPB à l'aire hyperbolique FHQB eſt compoſé des rapports 1 : 4324 & 0, 43429 : 1, 2340579. Ce qui forme le rapport de 1 à 12263, dont le rapport ſous-doublé eſt à très-peu de choſe près celui de 1 à 110, 7, lequel eſt le rapport même de la vîteſſe qu'acquerroit la balle en tombant par ſa propre gravité à travers l'eſpace FB, à la vîteſſe que cette même balle acquerroit par l'action de la poudre à travers le même eſpace; mais l'eſpace FB étant de 42 pouces & $\frac{3}{8}$ on connoît

la vîteſſe qu'acquerroit un corps en tombant à travers cet eſpace, puiſqu'on ſait qu'un corps qui tombe librement parcourt 15, 07 de pieds dans une ſeconde, delà ſi l'on multiplie 110, 7 par 15, 07 on aura un nombre 1668 qui exprimera le nombre de pieds que la vîteſſe feroit parcourir à la balle en une ſeconde; & c'eſt proprement là la vîteſſe que l'action de la poudre communiquera au boulet au moment de ſon exploſion.

Le calcul que nous venons de faire pour ce cas-ci, peut être aiſément appliqué à tout autre. Par exemple, ſi l'eſpace DEGC, n'eſt pas abſolument rempli de poudre, alors la ligne HF, ainſi que l'aire FHQB diminueront dans le rapport de tout l'eſpace à la partie qui ſe trouve remplie, & ſi le diametre du calibre varie, les longueurs AB & AF reſtant les mêmes, alors la quantité de poudre, & la ſurface du boulet ſur laquelle elle agit varieront en raiſon doublée de ce diametre; mais le poids du boulet variera en raiſon triplée de ce même diametre. C'eſt pourquoi la ligne FH qui eſt directement comme la force

abſolue de la poudre & réciproquement, comme la gravité du boulet doit changer en raiſon réciproque du diametre du boulet, ſi l'on augmente ou diminue la longueur AF de l'eſpace laiſſé derriere le boulet, le rectangle de l'hyperbole, & par conſéquent l'aire qui eſt avec les ordonnées dans un rapport donné augmentera ou diminuera proportionnellement à cette ligne; delà il ſuit que l'aire FHQB, qui eſt en raiſon doublée de la vîteſſe imprimée au corps ſera directement comme le logarithme $\frac{AB}{AF}$ (AB repréſentant la longueur du canon & AF l'eſpace compris entre le boulet & la culaſſe) cet eſpace ſera auſſi, directement comme la partie de cet eſpace remplie de poudre, & en raiſon inverſe du diametre du boulet, & il ſera pareillement en raiſon directe, comme la longueur AF de l'eſpace compris entre le boulet & la culaſſe; par conſéquent ce calcul ayant été fait pour un boulet d'un diametre déterminé, placé dans une piece d'une longueur connue, chaſſé par une quantité de poudre donnée & qui occupe derriere le boulet un eſpace auſſi donné, il ſuit que dans tout

autre cas, toutes choſes étant connuës comme dans celui-ci, on pourra toujours déterminer la vîteſſe du boulet. Il faut obſerver que, dans cette expérience, nous avons ſuppoſé que le diametre de la balle étoit de $\frac{3}{4}$ de pouce, & par conſéquent celui du calibre étoit quelque choſe de plus; & la quantité de poudre contenue dans l'eſpace DEGC ſe montoit exactement à 288 grains, (ce qui fait 12 dw) en y comprenant la petite bourre d'étoupe.

## SCHOLIE.

Dans cette Propoſition nous avons ſuppoſé, 1°. que l'action de la poudre ſur le boulet ceſſe auſſi-tôt que le boulet eſt hors de la piece; 2°. que toute la poudre de la charge eſt enflammée avant que le boulet ſoit ſenſiblement mis en mouvement; il s'agit maintenant de démontrer ces deux principes. Le premier paroîtra évident ſi l'on conſidere avec quelle promptitude la flamme, lorſqu'elle eſt une fois hors de la piece, ſe dilate de tous côtés; car ſa force ſe diſſipant bientôt ne peut plus agir ſenſiblement ſur le boulet.

La vérité du ſecond principe ne ſe découvre pas auſſi facilement, il eſt même contraire à ce qu'ont penſé là-deſſus la plupart des auteurs ; cependant il n'eſt pas moins certain : pour s'en convaincre, on pourroit faire attention à la prodigieuſe compreſſion dans l'ame de la piece, & au paſſage aiſé que la flamme trouve au travers des grains, on reconnoîtroit aiſément que les grains ainſi preſſés & environnés par le feu ne peuvent tarder de s'enflammer ; mais pour ne point s'en tenir à de ſimples ſpéculations ſur un ſujet d'une auſſi grande conſéquence, il faut obſerver que ſi la poudre s'enflamme ſucceſſivement & par partie, lorſqu'on lui oppoſera un plus grand poids qu'à l'ordinaire ; par exemple, deux ou trois boulets au lieu d'un, alors il faudra qu'il s'enflamme une quantité de poudre plus conſidérable que s'il n'y avoit qu'un ſeul boulet, puiſqu'un poids plus peſant exige une plus grande force pour être mis en mouvement. Deux ou trois boulets ſeront donc chaſſés avec beaucoup plus de force qu'un ſeul : cependant l'expérience fait voir le contraire ;

en tirant deux ou trois boulets avec la même charge que j'avois employée pour un ſeul, je trouvai que leur vîteſſe étoit à celle du premier, à peu près en raiſon inverſe ſous-doublée de leurs maſſes; c'eſt-à-dire, que ſi une certaine quantité de poudre communique à un boulet une vîteſſe qui lui faſſe parcourir 1700 pieds par ſeconde, elle communiquera à deux boulets une vîteſſe de 1250 à 1300 pieds par ſeconde, à trois boulets une vîteſſe de 1050 pieds à 1010, pendant le même eſpace de temps; il paroît donc que, quel que ſoit le nombre des boulets, l'action de la poudre eſt toujours la même. En effet, tous les Mathématiciens conviennent que ſi une même puiſſance met en mouvement différents corps, & leur fait parcourir le même eſpace, les vîteſſes de ces corps ſeront toujours en raiſon inverſe ſous-doublée de leurs denſités; & ſi cette regle n'eſt pas exactement obſervée dans notre expérience, (car la vîteſſe de deux & de trois boulets auroit dû être de 1200 à 900 pieds par ſeconde), c'eſt ſans doute, parce que la flamme paſſant entre le canon,

& le premier boulet agiſſoit ſur les deux autres.

Souvent même cette augmentation de vîteſſe a été inſenſible, & dans pluſieurs expériences les vîteſſes ſe ſont trouvées être préciſément en raiſon inverſe du nombre des boulets ; & au ſurplus le plus grand de ces accroiſſements de vîteſſe ne ſurpaſſe jamais la 8e. partie de la vîteſſe totale. Cependant s'il étoit vrai, comme on le croit communément, qu'il ne s'enflamme d'abord qu'une partie de poudre, & que les autres prennent feu ſucceſſivement, & à meſure que le boulet paſſe à travers le canon, de maniere qu'une grande partie même de la poudre fût pouſſée hors du canon ſans s'être enflammée, alors la quantité de mouvement communiquée aux trois boulets devroit être beaucoup plus grande que celle qui a été communiquée à un ſeul. Car les trois boulets emploient, pour paſſer à travers le canon, le double du tems qu'il a fallu à un ſeul boulet pour ſortir de la piece ; une plus grande quantité de poudre doit donc s'enflammer, & produire une plus grande force que celle qui agiſſoit

ſur un ſeul boulet, ce qui ſe trouve néanmoins contraire à l'expérience ; au reſte, la vérité de ce principe ſera encore mieux démontrée lorſqu'on fera voir, ci-après que les regles qu'on en déduit donnent toujours exactement les vîteſſes des boulets lorſqu'ils ſont pouſſés à travers un canon, ſoit que ſa longueur ſoit de 4 pouces ou de 1 ou 4 pieds.

Quant aux grains de poudre qui ne s'enflamment point, & qu'on nous veut donner comme une preuve de l'inflammation progreſſive de la charge, *Diego Ufano*, cet homme ſi expérimenté dans ce qui regarde l'Artillerie, me ſemble en avoir aſſez bien rendu raiſon (*a*) : „ il ſe trouve, dit-il, des grains „ qui ne s'enflamment point, parce „ qu'il arrive preſque toujours qu'une „ petite partie de la charge ſe ſépare du „ reſte, & demeure dans la piece, ou „ devant la bourre, & que dans cette „ poſition elle doit être chaſſée par l'im- „ pulſion de l'air, avant que la flamme „ ait pu l'atteindre „. Il faut remarquer

(*a*) Dialogue 20.

que

que cet inconvénient ne peut s'éviter par aucun moyen qui me ſoit connu lorſqu'ils s'agit de charger de petites armes, ſur-tout lorſqu'elles ont déja ſervi. Peut-être auſſi, que quelques-uns des grains ſe trouvent être hétérogenes aux autres, (ce que j'ai moi-même reconnu). Dans ce cas, quoiqu'ils ſoient environnés de la flamme, ils peuvent fort bien ne point s'enflammer & être chaſſés hors de la piece à l'inſtant de l'exploſion. Enfin, quoiqu'il en ſoit, la vérité de notre principe ne ſera pas moins inconteſtable.

Après avoir prouvé dans cette Propoſition que la vîteſſe d'un boulet peut être calculée d'après les principes établis dans la Propoſition précédente : nous montrerons que les vîteſſes avec leſquelles on éprouve que les boulets ſont chaſſés à travers des différentes longueurs, & avec des charges plus ou moins fortes s'accordent parfaitement avec les calculs que fait la théorie ; & par conſéquent, que ce que cette théorie ſuppoſe concernant la force & la puiſſance de la poudre eſt inconteſtablement vrai.

Mais pour pouvoir comparer la vîteſſe réelle d'un boulet avec celle que lui aſſigne la théorie, il faudroit connoître cette vîteſſe réelle, & c'eſt ce qu'on n'a pas encore trouvé; les ſeules méthodes dont on fait uſage dans la pratique, pour cet effet, ſont ou d'obſerver le temps que le boulet met à parcourir des eſpaces donnés, ou de meſurer les amplitudes de la courbe qu'il décrit, & de calculer enſuite (dans l'hypotheſe que ces courbes ſoient des paraboles) quelle vîteſſe il a fallu lui communiquer pour donner à la courbe l'amplitude meſurée. Mais la premiere méthode eſt ſujette à des difficultés inſurmontables dans la pratique. En effet, le mouvement du boulet eſt ſi rapide, & par conſéquent le temps obſervé eſt ſi court, que ſi, en le meſurant, on commet la moindre erreur, on pourra ſe tromper de 3, de 4, de 5, & même 6 cents pieds, dans l'eſpace d'une ſeconde. Quant à l'autre méthode, comme elle dépend de la premiere, elle n'eſt pas moins ſujette à erreur : de maniere, que la vîteſſe qu'on aſſigneroit pour le boulet, par ce moyen là ne ſeroit peut-

être que la dixieme partie de ſa vîteſſe réelle.

Afin de remédier à ces inconvénients, j'ai inventé une nouvelle méthode pour déterminer la vîteſſe réelle des boulets de toute eſpece, à un tel degré d'exactitude, que ſi on ſuppoſe que le boulet parcourt 1700 pieds par ſeconde, l'erreur qu'on pourra commettre dans l'eſtimation de ſa vîteſſe ne paſſera jamais la 500e. partie de ſa vîteſſe réelle; on peut même pouſſer plus loin cette exactitude : la machine dont je me ſert eſt des plus ſimples. On en verra la conſtruction, & l'uſage dans la Propoſition ſuivante.

## PROPOSITION VIII.

Déterminer la vîteſſe avec laquelle un boulet ſe meut au ſortir du canon.

### SOLUTION.

On peut ſe ſervir pour cet effet d'une machine repréſentée dans la figure ſuivante ABCD, qui en eſt le corps, elle eſt compoſé de trois pieces qui ſont écartées dans le bas, & vont ſe réunir en Pl. 1re. Fig. 2e.

un ſeul point A. La conſtruction en eſt la même que de celle dont on ſe ſert pour peſer & enlever des corps très-graves, & c'eſt ce que les ouvriers appellent triangle. Près du ſommet, à deux de ces groſſes pieces en ſont attachées deux autres R & S jointes enſemble par une barre de fer EF, ſur le milieu de laquelle, comme ſur un axe, eſt ſuſpendu le pendule EFGHIK, qui y doit faire ſes vibrations avec une grande facilité. Le corps de ce pendule peut être de fer, & l'extrêmité en doit être fort large : ce qui ne pouvant être bien repréſenté par cette figure-ci, ſe
Fig. 3. concevra mieux par la figure A ; la partie inférieure du pendule eſt couverte par une piece de bois GKIH, fort épaiſſe & étroitement liée au fer par des vis au-deſſous du pendule, & aux deux branches qui le ſoutiennent eſt attachée une barre de fer OP, ſur le milieu de laquelle ſe trouvent deux plaques d'acier MNV, liées l'une à l'autre à peu près comme les deux côtés d'une plume à deſſiner ; on peut les ſerrer ou les éloigner à volonté, par le moyen d'un écrou Z qui traverſe la partie ſupérieure,

& s'engraine dans la barre de fer. A l'extrêmité du pendule eſt attaché un ruban étroit LN, qui paſſe entre les deux plaques d'acier, & enſuite par une ouverture pratiquée entre la plaque inférieure & la barre de fer, de maniere qu'il tombe enſuite librement comme en W.

Cet inſtrument ainſi conſtruit, ſi on connoît le poids du pendule, & que pareillement on connoiſſe la diſtance de ſon centre de gravité & d'oſcillation à ſon axe de ſuſpenſion, on pourra ſavoir quel mouvement communiqueroit au pendule le choc d'un corps, dont la vîteſſe & le poids ſeroit déterminé, c'eſt-à-dire, que ſi le pendule eſt en repos, on ſaura quelles vibrations il doit faire lorſqu'il ſera frappé avec une force connue; & réciproquement, ſi le pendule eſt frappé par un corps d'un poids donné, & avec une force inconnue, mais que les vibrations qu'il fait ſoient connues, on pourra découvrir quelle eſt la vîteſſe de ce corps.

Delà ſi un boulet d'un poids connu vient à frapper le pendule, & qu'on puiſſe connoître les vibrations que fait

le pendule après ce coup, il arrivera par-là même qu'on connoîtra la vîteſſe du boulet. Or l'étendue de la premiere vibration du pendule pourra toujours ſe connoître exactement par le moyen du ruban LN ; pour cela il faut avoir attention de ne le preſſer entre les deux plaques avec la vis Z, qu'autant qu'il eſt néceſſaire pour qu'il éprouve une petite réſiſtance, quoiqu'il puiſſe toujours cependant couler librement & avec facilité. Enſuite laiſſant le pendule ſe mettre bien en repos, & faiſant enſorte que la partie LN, du ruban ſoit bien droite ſans être tendue avec force, on attachera une épingle à l'endroit du ruban qui touche les plaques d'acier au point N. Pour lors, ſi une balle vient frapper le pendule, il reculera & entraînera avec lui le ruban, de maniere, que l'étendue de ſa vibration ſera marquée par l'intervalle qui ſe trouve ſur le ruban entre l'épingle & les bords des plaques d'acier.

Mais il eſt néceſſaire d'expliquer un peu au long comment la vîteſſe du boulet peut être calculée par le moyen du ruban, & nous allons en conſéquence

faire part au lecteur de quelques-unes des expériences que nous avons faites par le ſecours de cette machine.

Le poids de tout le pendule étoit de 56 livres & trois onces. Son centre de gravité étoit éloigné de 52 pouces de ſon axe de ſuſpenſion, & il faiſoit en 253 ſecondes, deux cents petites vibrations, ce qui faiſoit connoître que ſon centre d'oſcillation étoit éloigné de l'axe de ſuſpenſion de 62 pouces & $\frac{2}{3}$; & la diſtance du centre de la piece GKIH au même axe étoit de 66 pouces.

Maintenant il faut déterminer le quatrieme terme d'une proportion géométrique, dont les deux prémiers termes ſeront le rapport compoſé des raiſons 66 à $62\frac{2}{3}$; & 66 à 52, & le troiſieme terme 66 liv. 3 onces, le quatrieme terme, ſera le poids de la planche GHIK qui ſera 42 liv. & $\frac{1}{2}$ once, on connoîtra géométriquement, que ſi le coup frappe le centre de la piece de bois GHIK, le pendule réſiſtera de la même maniere, que ſi le poids de cette piece, (c'eſt-à-dire 42 liv. $\frac{1}{2}$ once) étoit réunie à ce même point, & que tout le reſte de la machine fût ſans peſanteur. De ſorte, que

ſi on ſuppoſe que le poids de la balle ſoit $\frac{1}{12}$ de livre, ou $\frac{1}{504}$ de la peſanteur totale de la piece GHIK, la vîteſſe du pendule au point d'oſcillation ſera (ſuivant la loi qui s'obſerve entre les corps qui ne ſe réfléchiſſent point) $\frac{1}{505}$ de la vîteſſe de la balle même, & ſi la vîteſſe du pendule au point d'oſcillation eſt connue, en la multipliant par 505 on aura auſſi celle de la balle qui l'a frappé.

Or la vîteſſe du pendule au point d'oſcillation peut toujours ſe déterminer, étant connue la corde de l'arc que le pendule décrit lorſqu'il monte après l'impulſion qu'il a reçue de la balle; mais il eſt démontré par pluſieurs propoſitions très-connues, qu'un corps attaché à l'extrêmité d'un pendule s'éleve en montant ſuivant un arc à la même hauteur, où il s'éleveroit s'il étoit projeté verticalement avec cette même vîteſſe qu'il a au point le plus bas de l'arc qu'il décrit; par conſéquent cherchant le ſinus verſe de cet arc, (ce qui peut toujours ſe faire lorſqu'on en connoît la corde & le rayon) il ſera la hauteur perpendiculaire à laquelle le

corps s'éleveroit s'il étoit projeté verticalement avec la vîteſſe qu'il a au point le plus bas de l'arc, ſuivant lequel il monte ; cette vîteſſe cherchée pourra donc être connue par la théorie ordinaire des corps tombans.

Par exemple, dans nos expériences la corde de l'arc décrite par le pendule, & meſurée par le ruban, s'eſt trouvée être quelquefois de 17 pouces & $\frac{1}{4}$ ; mais la diſtance de ce ruban à l'axe de ſuſpenſion eſt de 71 pouces & $\frac{1}{8}$ ; multipliant donc $17\frac{1}{4}$ par 66, & le diviſant par $71\frac{1}{8}$, j'aurai un nombre qui ſera à peu près 16 pouces, & qui exprimera la corde de l'arc décrit par le centre de la piece de bois GKIH. Or le ſinus verſe d'un arc dont la corde eſt 16 pouces & le rayon 66, ſera 1,93939, & la vîteſſe qui porteroit le corps à cette hauteur, ou que le corps acquerroit en deſcendant de cette hauteur, lui pourra faire parcourir à peu près 3 pieds 3 pouces dans une ſeconde.

Si l'on veut donc déterminer la vîteſſe avec laquelle le boulet vient frapper le centre de gravité de la piece de bois, la corde de l'arc qu'il lui fait

décrire, meſurée par le ruban, ſe trouvant être de 17 pouces & $\frac{1}{4}$, il faudra multiplier $3\frac{1}{4}$ par 505, & le nombre réſultant 1641, exprimera le nombre de pieds que parcourroit le boulet dans une ſeconde s'il conſervoit cette vîteſſe avec laquelle il a frappé le pendule. En effet, nous avons trouvé que le point frappé par le boulet étoit mu avec une vîteſſe de 3 pieds & $\frac{1}{4}$ dans une ſeconde ; & nous avons démontré précédemment que cette vîteſſe eſt $\frac{1}{505}$ de la vîteſſe du boulet. Si l'on ſuppoſe donc qu'un boulet peſant $\frac{3}{12}$ de livre frappe le centre de la piece GKIH, de maniere, qu'en ſe reculant le pendule tire le ruban de la longueur de 17 pouces & $\frac{1}{4}$, la vîteſſe du boulet ſera telle qu'elle pourra lui faire parcourir 1641 pieds par ſeconde ; & comme la longueur du ruban eſt toujours à peu près égale à la corde de l'arc décrite par le pendule ( notre machine étant ainſi conſtruite, que la différence entre les longueurs du ruban, & les cordes des arcs eſt preſque toujours inſenſible ) & de plus, comme ces longueurs ſont proportionnelles aux

vîteſſes avec leſquelles le pendule ſe meut après que le boulet l'a frappé, il s'enſuit que les longueurs du ruban ſeront entr'elles, comme les vîteſſes des boulets, & conſéquemment la longueur du ruban qui eſt de 17 pouces & $\frac{1}{4}$ étant connue, on connoîtra auſſi la vîteſſe du boulet; il eſt donc bien démontré que la vîteſſe d'un boulet, de quelque eſpece que ce ſoit, peut toujours être connue par le moyen de notre inſtrument; mais comme ceux qui voudroient s'en ſervir pour faire des expériences, n'ont peut-être pas prévu les difficultés qui ſe rencontrent dans la pratique, je joindrai encore ici quelques obſervations, afin de leur apprendre à ſurmonter & à éviter les dangers auxquels ils pourroient être expoſés.

Premiérement, il ne faut pas s'imaginer que la planche GKIH, ſoit dans la machine une piece inutile. En effet, ſi le boulet chaſſé par une forte charge de poudre venoit frapper directement le fer, il briſeroit tout, & ſe réfléchiroit avec encore aſſez de force pour s'enfoncer dans une piece de bois qu'il rencontreroit en ſon chemin; c'eſt ce que j'ai éprouvé moi-même, quoi-

que l'expérience fût assez périlleuse ; & indépendamment du danger auquel on seroit exposé, on auroit encore le déplaisir de n'avoir rien avancé : toute la vîtesse du boulet n'ayant point été communiquée au pendule, reste inconnue.

Le poids du pendule & l'épaisseur de la piece GKIH, doivent être proportionnés au poids du boulet ; celui par exemple, dont nous venons de parler, peut servir pour une balle au-dessous de 3 ou 4 onces, & si on augmente l'épaisseur de la planche de 7 à 8 pouces, on en pourra faire usage pour les balles les plus pesantes ; le hêtre étant le bois le plus dur, est par conséquent le plus propre pour cet effet.

Il seroit imprudent lors de l'expérience de demeurer à côté du pendule, à moins que la planche ne soit assez épaisse pour empêcher la balle de pénétrer jusqu'au fer. Car si elle alloit heurter contre le fer avec force, les éclats du plomb, qui ne sauroient revenir à travers le bois, se frayeroient un chemin entre la planche & le fer, & seroient portés à une distance considérable.

De plus, comme on ne peut attacher au fer la piece de bois que par le moyen des vis dont les têtes ſont enfoncées dans le bois même, il peut arriver que la balle en rencontre une, & alors elle feroit voler des éclats de tous côtés.

Lorſque dans ces ſortes d'expériences, on ne communiquera à la balle qu'une vîteſſe de 4 à 500 pieds par ſeconde, la balle n'entrera point dans le bois (ſur-tout s'il eſt très-dur); mais elle ſe réfléchira avec une vîteſſe aſſez conſidérable, puiſque toutes celles que j'ai vues ſe réfléchir ainſi; & que j'ai enſuite examinées, avoient reçu des empreintes des corps qu'elles avoient rencontré; afin donc d'éviter tous ces dangers, (car dans les recherches Philoſophiques il n'y a ſûrement aucun honneur à s'expoſer,) il faudra fixer le canon dont on ſe ſervira ſur un affût fort peſant, & y mettre le feu avec une meche lente. Il faut auſſi que le canon ſoit fort épais dans toute ſa longueur, car tout canon conſtruit ſuivant la coutume ordinaire, (je veux dire un canon de mouſquet) ne pourroit ſans crever ſupporter pluſieurs ex-

périences, ainſi que je l'ai éprouvé à mes dépens. Celui que j'ai fait faire exprès pour cet uſage, & ſur la force duquel je compte le plus, eſt auſſi épais à la bouche qu'à la culaſſe, & dans toute ſa longueur l'épaiſſeur du métal eſt à peu près égale au diametre du calibre. La poudre qu'on emploiera doit être exactement peſée, & afin qu'aucune partie ne s'écarte dans le canon, il faudra le charger avec une lanterne, comme on fait pour les groſſes pieces ; la bourre doit être d'étoupe, on en doit toujours mettre la même quantité, & jamais plus qu'il n'en faut pour retenir ſeulement la poudre dans ſon lieu : il faudra meſurer exactement la longueur de l'eſpace qu'on laiſſe derriere la balle, parce que ſi on l'augmentoit ou diminuoit, la vîteſſe de la balle varieroit, quoique ſon poids & la charge fuſſent toujours les mêmes. La diſtance entre le pendule, & la bouche du canon doit être telle que la flamme ne puiſſe point agir ſur le pendule. Par exemple, ſi le canon eſt chargé avec une demi-once de poudre, il faudra que le pendule en ſoit éloigné de 16 à 18 pieds. Si la

charge étoit plus forte l'impulſion s'étendroit plus loin. J'ai même trouvé quelquefois qu'elle ſe faiſoit ſentir juſqu'à la diſtance de 25 pieds. Néanmoins, celle que j'ai preſque toujours choiſie étoit entre 18 & 25 pieds. Les autres précautions qu'il eſt néceſſaire de prendre ſeront mieux placées dans le rapport que j'ai fait de mes expériences, & que je donnerai bientôt.

## PROPOSITION IX.

Comparer les vîteſſes réelles des boulets avec celles qui leur ſont aſſignées par les calculs de la théorie.

### *SOLUTION.*

Nous avons donné fort au long dans la derniere Propoſition, la méthode de déterminer les vîteſſes réelles des boulets, & nous avons pareillement expliqué dans la 6e. comment par le ſecours de la théorie on peut connoître ces mêmes vîteſſes. Nous allons maintenant comparer les réſultats de nos expériences avec ceux que nous donne la théorie, qui, comme on leverra, s'accor-

dent exactement avec les mouvements réels des boulets, quoique les principes d'où on les tire n'aient aucun rapport avec nos expériences.

La premiere expérience que je propoſerai fut faite ſur un canon de même dimenſions, que celui de la 6e. Propoſition ; la balle ayant $\frac{3}{4}$ de pouce de diametre, la longueur du canon étant de 45 pouces, celle de la cavité qui contient la poudre de $2\frac{5}{8}$ de pouce, comme le diametre du calibre ſurpaſſe celui de la balle de $\frac{1}{40}$ de pouce, cet eſpace contiendra préciſément 12 DW (*a*) de poudre : le boulet dont je fis uſage peſoit $\frac{1}{12}$ de livre *avoir du poids*, & étoit par conſéquent le même que celui dont je m'étois ſervi dans la 7e. Propoſition ; mais la planche attachée au pendule étoit de 4 livres plus légere que celle de cet exemple. Les circonſtances avec leſquelles on doit tirer le boulet faiſant connoître, avec le ſecours de la théorie, la corde de l'arc meſuré par le ruban qu'entraîne le pendule, on peut voir par la table ſuivante, combien la théorie s'accorde avec l'expérience :

(*a*) Un DW vaut 24 grains.

N°.

| N°. | Quantité de poudre. | Corde de l'arc mesurée sur le ruban. | La même corde trouvée par la théorie. | Erreur de la théorie. |
|---|---|---|---|---|
| | DW | | | |
| 1 | 12 | 18,7 | 19,0 | + 0, 3 |
| 2 | 12 | 19,6 | 19,0 | — 0, 6 |
| 3 | 6 | 13,6 | 13,4 | — 0, 2 |

Je fis enſuite, avec le même canon, de nouvelles expériences; mais la planche du pendule étoit alors un peu plus peſante que celle de l'exemple 7.

| N°. | Longueur de la cavité contenant la poudre, ou, ce qui revient au même, de la ligne AF, Fig. 1. | Quantité de poudre. | Corde de l'arc mesurée sur le ruban. | La même corde trouvée par la théorie. | Erreur de la théorie. |
|---|---|---|---|---|---|
| | POUCES. | DW | POUCES | POUCES. | POUCES. |
| 4 | 2 5/8 | 6 | 11,9 | 12,1 | + 0, 2 |
| 5 | 2 5/8 | 6 | 12,2 | 12,1 | — 0, 1 |
| 6 | 1 1/4 | 6 | 13,2 | 13,6 | + 0, 4 |
| 7 | 1 1/4 | 6 | 13,9 | 13,6 | — 0, 3 |
| 8 | 2 5/8 | 12 | 16,7 | 17,2 | + 0, 5 |
| 9 | 2 5/8 | 12 | 17,5 | 17,2 | — 0, 3 |
| 10 | 2 5/8 | 12 | 16,9 | 16,8 | — 0, 1 |
| 11 | 2 5/8 | 12 | 17,0 | 16,8 | — 0, 2 |
| 12 | 2 5/8 | 6 | 11,7 | 11,5 | — 0, 2 |
| 13 | 2 5/8 | 6 | 11,1 | 11,5 | + 0, 4 |
| 14 | 2 5/8. | 12 | 16,7 | 16,3 | — 0, 4 |

Les cinq derniers nombres donnés par la théorie s'accordent mieux que les autres avec l'expérience à cauſe des balles qui avoient reſtées dans la planche, & qui augmentoient le poids du pendule de plus de deux livres, enſorte, que ſes vibrations devoient être diminuées, les expériences ſuivantes furent faites avec un canon du même calibre que le dernier; mais de la longueur de 12, 375 de pouces; afin de les diſtinguer, le premier canon ſera déſigné par la lettre A & le ſecond par C. Il faut de plus, obſerver que la planche dont on s'étoit ſervi pour le premier, étoit plus légere que celle qu'on avoit employé dans la 7^e. Propoſition.

| N°. | Canon. | Etendue de la cavité contenant la poudre. | Quantité de poudre. | Corde de l'arc meſurée ſur le ruban. | La même par la théorie. | Erreur de la théorie. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | POUCES. | DW | POUCES. | POUCES. | POUCES. |
| 15 | C | 2 5/8 | 12 | 12,7 | 12,8 | +,1 |
| 16 | C | 2 5/8 | 12 | 12,6 | 12,8 | +,2 |
| 17 | C | 2 5/8 | 12 | 12,4 | 12,8 | +,4 |
| 18 | A | 2 5/8 | 12 | 17,0 | 17,3 | +,3 |
| 19 | A | 2 5/8 | 12 | 17,2 | 17,2 | ,0 |
| 20 | A | 2 5/8 | 12 | 17,1 | 17,2 | +,1 |
| 21 | A | 2 5/8 | 12 | 17,2 | 17,2 | ,0 |
| 22 | A | 2 5/8 | 6 | 12,4 | 12,2 | —,2 |

Dans quelques-unes des expériences ſuivantes, le canon dont je me ſervis étoit encore de même calibre que les deux autres, & avoit 24, 312 de pouces de longueur. Nous le déſignerons par B. La planche du pendule, étoit un peu plus peſante que celle de la 7e. Prop. & comme dans le cours des expériences, on lui en ſubſtitua d'autres d'un poids ſenſiblement plus grand, j'ai diminué proportionnellement les nombres correſpondants que me donnoit la théorie.

| N°. | Canon. | Etendue de la cavité contenant la poudre. | Quantité de poudre. | Corde de l'arc meſurée ſur le ruban. | La même par la théorie. | Erreur de la théorie |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | POUCES. | DW | POUCES. | POUCES. | POUCES. |
| 23 | A | 2 5/8 | 12 | 17,1 | 17,2 | + ,1 |
| 24 | A | 2 5/8 | 9 | 15,2 | 15,0 | — ,2 |
| 25 | A | 2 5/8 | 9 | 15,4 | 15,0 | — ,4 |
| 26 | C | 2 5/8 | 12 | 11,5 | 12,8 | +1,3 |
| 27 | C | 2 5/8 | 12 | 11,5 | 12,8 | +1,3 |
| 28 | C | 2 5/8 | 6 | 8,7 | 9,0 | + ,3 |
| 29 | C | 2 5/8 | 12 | 12,3 | 12,5 | + ,2 |
| 30 | B | 2 5/8 | 12 | 14,4 | 14,4 | ,0 |
| 31 | B | 2 5/8 | 12 | 14,4 | 14,4 | ,0 |
| 32 | B | 2 5/8 | 6 | 10,3 | 10,5 | + ,2 |
| 33 | A | 1 3/4 | 8 | 14,7 | 14,5 | — ,2 |
| 34 | A | 4 | 12 | 15,7 | 15,3 | — ,4 |

L'erreur que je trouvai dans la 26^e^. & 27^e^. expérience fut beaucoup plus conſidérable que dans les autres, je penſe qu'elle provenoit du poids de la poudre ou de l'humidité du canon, ce qui peut, ſuivant ce que j'ai éprouvé, diminuer de beaucoup la force de la poudre.

Dans les expériences ſuivantes, le pendule étoit beaucoup plus peſant que dans les premieres; ſon poids étoit de 97 livres, & ſon centre de gravité étoit éloigné de l'axe qui le ſoutient de 55, 625 de pouces. Il faiſoit 200 petites vibrations en 255 ſecondes & $\frac{1}{4}$, & ſon centre d'oſcillation étoit éloigné de l'axe de 63, 9 de pouces. On ſe ſervit auſſi pluſieurs fois d'un canon qui avoit 7, 06 de pouces de longueur & 0, 83 de diametre (nous l'appellerons D); le boulet étoit préciſément à la meſure du canon, de ſorte qu'il entroit avec aſſez de difficulté; & ſon poids étoit de $33\frac{1}{2}$ DW.

| N°. | Canon | Etendue de la cavité contenant la poudre. | Quantité de poudre. | Corde de l'arc mesurée sur le ruban. | La même par la théorie. | Erreur de la théorie. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | POUCES. | DW | POUCES. | POUCES. | POUCES. |
| 35 | A | 2 5/8 | 12 | 9,2 | 9,2 | 0 |
| 36 | A | 2 5/8 | 12 | 9,5 | 9,2 | —,3 |
| 37 | A | 5 1/4 | 24 | 11,7 | 11,3 | —,4 |
| 38 | A | 7 7/8 | 36 | 13,2 | 12,6 | —,6 |
| 39 | A | 2 5/8 | 12 | 9,3 | 9,1 | —,2 |
| 40 | A | 1 3/4 | 8 | 7,6 | 8,1 | +,5 |
| 41 | C | 2 5/8 | 12 | 6,1 | 6,6 | +,5 |
| 42 | C | 2 5/8 | 12 | 6,5 | 6,6 | +,1 |
| 43 | B | 2 5/8 | 12 | 8,0 | 8,2 | +,2 |
| 44 | B | 2 5/8 | 12 | 8,3 | 8,2 | —,1 |
| 45 | A | 2 5/8 | 12 | 9,5 | 9,1 | —,4 |
| 46 | A | 2 5/8 | 12 | 9,1 | 9,1 | 0 |
| 47 | A | 2 5/8 | 6 | 7,2 | 6,5 | —,7 |
| 48 | A | 2 5/8 | 6 | 6,7 | 6,5 | —,2 |
| 49 | C | 2 5/8 | 12 | 6,8 | 6,7 | —,1 |
| 50 | C | 2 5/8 | 12 | 7,5 | 6,7 | —,8 |
| 51 | C | 2 5/8 | 6 | 4,7 | 4,8 | +,1 |
| 52 | C | 2 5/8 | 6 | 5,0 | 4,8 | —,2 |
| 53 | D | 2 1/4 | 12 | 7,0 | 7,2 | +,2 |
| 54 | D | 2 5/8 | 12 | 7,1 | 6,8 | —,3 |
| 55 | D | 2 5/8 | 6 | 4,7 | 4,8 | +,1 |
| 56 | D | 2 5/8 | 6 | 4,8 | 4,8 | 0 |
| 57 | A | 2 1/16 | 6 | 6,4 | 6,5 | +,1 |
| 58 | A | 2 1/16 | 6 | 6,4 | 6,5 | +,1 |
| 59 | A | 2 1/16 | 6 | 6,6 | 6,5 | —,1 |
| 60 | A | 2 1/16 | 6 | 6,7 | 6,5 | —,2 |
| 61 | A | 2 1/16 | 12 | 9,0 | 9,1 | +,1 |

La plus grande erreur qui ſe trouve dans la 50e. expérience ne venoit apparemment que du changement dans l'athmoſphere. Car le réſultat de la 49e. faite cependant à peu près de la même maniere, avec la même quantité de poudre, différoit peu de ce qu'on trouvoit par la théorie ; celle de la 38e. ne provenoit ſans doute que de l'impulſion que communiquoit au pendule la flamme de la poudre, qui étant en grande quantité, devoit évidemment produire cet effet ; notre théorie eſt ſur-tout confirmée par les expériences faites ſur de petites quantités de poudre ; nous avons ſuppoſé juſqu'ici que la chaleur de la poudre enflammée étoit toujours égale à celle d'un fer rouge portée au plus haut degré ; mais, comme nous l'avions obſervé, lorſqu'il s'agit de petites quantités de poudre, la chaleur ne peut être alors ſi conſidérable, & l'élaſticité ſera moindre que dans la premiere ſuppoſition. C'eſt ce dont on s'eſt convaincu par pluſieurs expériences: ainſi dans la Propoſition 7e. la vîteſſe du boulet, ſuivant la théorie, eût dû lui faire parcourir en nombre entier 1670

pieds par ſeconde, & cependant les expériences nous ont donné une vîteſſe moyenne à celle qu'il auroit reçu ſans les accidents qu'on ne peut prévenir ; & en effet, ſi le canon & la poſition du boulet reſtant la même dans l'eſpace DEGC, on place un Fig. 1.
DW, au lieu de 12, alors en ſuppoſant que les élaſticités gardent le même rapport que les quantités de poudre, la vîteſſe du boulet chaſſé par la plus petite charge, ſera à celle du boulet chaſſé par la plus grande, dans le rapport ſous-doublé de ces deux charges, c'eſt-à-dire, dans le rapport ſous-doublé, de 1 à 12 ; & comme la vîteſſe du boulet dans le cas où la charge eſt de 12 DW, lui fait parcourir 1670 pieds en une ſeconde, dans le ſecond il devra parcourir à peu près 482 pieds dans le même eſpace de temps. Cependant j'ai trouvé dans pluſieurs expériences, dont les réſultats étoient toujours à peu près les mêmes, que l'eſpace parcouru en une ſeconde, au moyen de l'exploſion d'un DW, étoit toujours plus petit que 400 pieds, d'où il eſt évident que l'élaſticité dans ce cas,

eſt à l'élaſticité dans le premier, dans un moindre rapport, que les quantités de poudre. Cela doit être par notre théorie. Pareillement, ſi toutes choſes égales d'ailleurs, on charge le canon avec 3 DW, la vîteſſe du boulet lui fera parcourir 740 à 720 pieds dans une ſeconde, comme je l'ai trouvé dans pluſieurs expériences : au lieu qu'il eût dû parcourir 825 pieds, s'il étoit vrai que l'élaſticité fût a même, ſoit qu'il y eût 3 DW, ſoit qu'il y en eût 12; & par conſéquent l'élaſticité, ainſi que la chaleur, eſt moindre dans ce cas que dans l'autre ; ce que la théorie confirme : or les élaſticités diminuées ſont aux élaſticités produites par nos plus grandes quantités, en rapport doublé des vîteſſes qu'elles communiquent en agiſſant à travers le même eſpace ; donc l'élaſticité produite par une charge de 1 DW, eſt à l'élaſticité produite par 12 DW comme 2 eſt à 3 ; & celle de 3 DW de poudre eſt à celle de 12, comme 3 eſt à 4; en ſuppoſant que les petites élaſticités ſont uniformément diminuées dans chaque inſtant de leur dilatation ; mais il n'eſt pas cependant vraiſemblable

que cela arrive ; car comme la diminution de l'élaſticité ne vient que d'un défaut de chaleur dans le fluide, il eſt très-probable que non-ſeulement la chaleur eſt moindre par rapport à la quantité, qu'elle ne l'eſt lorſque la charge eſt très-forte ; mais encore qu'elle diminue à meſure que le boulet eſt pouſſé à travers le canon, & par conſéquent l'élaſticité ſera d'autant plus diminuée qu'elle ſera obligée d'agir plus long-temps, ce qui n'arrive pas lorſque la charge eſt proportionnée à la piece.

## SCHOLIE.

Nous venons de confirmer notre théorie par les preuves les plus inconteſtables, c'eſt-à-dire, par un grand nombre d'expériences faites dans preſque toutes les circonſtances différentes qui peuvent ſe rencontrer dans la pratique. Je dois même ajouter que la plupart de ces expériences étoient faites & enregiſtrées, avant que j'euſſe entrepris les calculs de la théorie que je viens de comparer avec elles, quoique j'euſſe déja propoſé cette même théorie avant d'en avoir fait aucune.

En voyant combien la théorie s'accorde avec nos expériences, (& on ne peut plus douter de ſa juſteſſe & de ſon exactitude) elles ſont trop variées pour avoir pu nous tromper. En effet, nous avons employé des boulets de différents poids, des canons de différentes grandeurs, depuis 7 pouces juſqu'à 45, des différentes quantités de poudre depuis 6 DW juſqu'à 36; nous les avons même diſpoſé dans le canon de différentes manieres. Tantôt la cavité dans laquelle elles étoient renfermées en étoit exactement remplie, tantôt elle eût été aſſez grande pour en contenir beaucoup plus, & dans toutes ces circonſtances la théorie a toujours été d'accord avec l'expérience : ou ſi nous avons trouvé quelques exceptions à la regle générale, comme lorſque nous employions de petites quantités de poudres, alors la théorie nous faiſoit connoître qu'elles étoient néceſſaires. On ne peut donc douter des principes qu'elle nous donne concernant la force & l'action de la poudre enflammée.

Cette théorie ſuppoſe, que ſi on enflamme de la poudre à canon, $\frac{1}{10}$ de la

ſubſtance totale ſont converties en un fluide dont l'élaſticité, eu égard à ſa chaleur & à ſa denſité, eſt la même que celle de l'air ordinaire. Elle ſuppoſe encore que toute la force de la poudre ne conſiſte que dans l'action du fluide qu'elle produit; & ces deux principes établis, nous avons pu déterminer la vîteſſe des boulets chaſſés par des pieces, de quelque eſpece qu'elles ſoient; delà nous pourrons toujours connoître la force de la poudre à canon; que ce fluide ſoit de l'air ordinaire ou non, c'eſt une recherche qui ne nous peut être d'aucune utilité dans ce Traité.

On peut encore faire uſage de notre théorie, pour des objets qui ſont dans l'Artillerie de la plus grande importance. Telle eſt, par exemple, l'épaiſſeur qu'il faut donner au canon pour ſupporter ſans crever une certaine charge de poudre. Il eſt toujours facile de la déterminer, l'effort de la poudre étant connu. Ce que quelques auteurs modernes ont avancé, concernant la forme qu'on doit donner à la chambre d'un mortier ou à l'ame d'un canon, eſt donc fort inconſéquent, puiſqu'ils ne ſe fon-

dent que ſur de faux principes touchant l'action de la poudre enflammée. Notre théorie nous apprend auſſi la néceſſité de laiſſer derriere les boulets des eſpaces égaux, lorſqu'avec des quantités de poudres égales, nous voudrons leur communiquer la même vîteſſe, puiſque, ſuivant ces principes, la même quantité de poudre a plus ou moins d'élaſticité ſuivant qu'elle eſt renfermée dans un eſpace plus ou moins grand. La méthode dont on ſe ſert pour le faire avec préciſion, c'eſt de marquer le refouloir ; & on ne peut gueres ſe diſpenſer d'obſerver cette loi, ſur-tout lorſque le canon eſt tiré à une certaine élévation, comme dans les batteries appellées par les François, batteries à ricochet : connoiſſant l'action continuée de la poudre, & la maniere dont elle ſe continue, on peut facilement déterminer la longueur & le poids de la piece, ſuivant l'uſage qu'on en veut faire. En effet, tous ceux qui s'adonnent à la pratique de l'Artillerie, conviennent qu'on ne pourra jamais compter ſur un coup de canon, à moins que la piece ne ſoit appuyée ſur une platte-forme aſſez ſoli-

de pour ſoutenir l'effort de l'exploſion. Car ſi le plan s'ébranle à la premiere impulſion de la poudre, le canon doit être auſſi ébranlé, & par conſéquent ſa direction ſera dérangée, ainſi que celle du boulet ; afin de prévenir cet accident on a coutume d'appuyer le canon ſur une platte-forme des plus ſolides, compoſée de planches d'une épaiſſeur conſidérable, de maniere qu'elle réſiſte non-ſeulement au premier mouvement de la piece, mais à une grande partie de ſon recul ; il eſt évident que le boulet une fois ſorti du canon n'eſt plus affecté par ſon mouvement, ni par celui de la platte-forme qui le ſoutient, & par un calcul des plus faciles, on trouve qu'en ſuppoſant une piece longue de 10 pieds, portant un boulet de 24, & chargée avec 16 livres de poudre, le boulet ſera ſorti avant que la piece ait reculée ſeulement d'un demi-pouce : par conſéquent, il ſuffira d'avoir une platte-forme qui puiſſe ſoutenir le premier effort du recul, qu'elle cede enſuite peu importe, puiſqu'alors le dérangement de la piece ne peut influer ſur la direction

du boulet. On aura donc par ce moyen une méthode beaucoup plus exacte pour conſtruire les plattes-formes.

Notre théorie nous fait auſſi appercevoir combien ſe ſont trompés ceux qui attribuent la force de la poudre, ou du moins une partie de ſa force à l'air contenu dans les grains ou entre les grains. En effet, ils ont ſuppoſé que l'air y exiſtoit d'abord dans ſon état naturel, & qu'il ne recevoit enſuite ſa force que de la chaleur qui augmentoit ſon élaſticité à l'inſtant de l'exploſion; mais nous avons vu dans la Propoſition 5^e. que cette élaſticité ne pouvoit devenir que tout au plus 5 fois auſſi grande qu'elle étoit avant l'exploſion, ce qui ne donneroit à cet air qu'une force deux cents fois plus petite que celle que la poudre a réellement.

Après avoir prouvé l'exactitude & la juſteſſe de notre théorie, nous examinerons maintenant quelques particularités relatives à ce ſujet, qui, quoique pouvant être aiſément déduite des principes établis, méritent néanmoins, à cauſe de leur nouveauté, d'être traités un peu plus au long.

## PROPOSITION X.

Déterminer quels changements peuvent faire dans la force de la poudre, les différents états de l'athmoſphere.

### SOLUTION.

Dans toutes les expériences que j'ai faites juſqu'à préſent, je ne me ſuis jamais apperçu que les variations dans la denſité de l'air puſſent influer en aucune façon ſur la force de la poudre. J'ai comparé des expériences faites dans différentes ſaiſons ; j'en ai fait à midi dans les jours les plus chauds de l'été, & les ai répété le ſoir & le matin, ſans appercevoir jamais entr'elles aucune différence marquée ; elles étoient auſſi les mêmes que celles que j'avois fait dans la nuit, & en hiver, quoique dans tous ces cas la denſité de l'athmoſphere dût être différente ; & en effet, comme la poudre produit, ſoit dans l'air ſoit dans le vuide, une même quantité de ce fluide qui fait ſa force, il ſeroit difficile de concevoir que cette force

pût diminuer ou augmenter, ſuivant que la denſité de l'athmoſphere ſeroit ou plus petite ou plus grande.

Mais ſi la denſité de l'air n'influe en rien ſur la force de la poudre, il n'en eſt pas de même de ſon plus ou moins d'humidité; une quantité de poudre, par exemple, qui, lorſque l'air n'étoit point chargé de vapeurs, a pu faire parcourir à un boulet l'eſpace de 1700 pieds par ſeconde, ſi l'air devient humide, ne lui communiquera plus qu'une vîteſſe de 12 à 1300 pieds, dans le même eſpace de temps; cette force ſera encore plus petite, ſi la poudre eſt foible ou qu'elle ait été mal conſervée. Ces changements occaſionnés par l'humidité dans la force de la poudre, ſont très-ſouvent conſidérables; quelquefois deux égales quantités de poudre priſes dans le même baril, dont l'une avoit été tenue bien au ſec, & l'autre avoit contracté quelque humidité, ont des forces bien différentes, juſques-là, qu'il eſt arrivé ſouvent que la force de l'une étoit dix fois plus grande que celle de l'autre. J'ai remarqué, autant que la variété de ces changements a pu me le

le permettre, qu'une quantité de poudre perd beaucoup plus de ſa force qu'une plus grande, l'une & l'autre étant également humide. Il eſt bon d'obſerver encore que la poudre laiſſe dans le canon beaucoup plus de craſſe lorſqu'elle eſt humide, que lorſqu'elle eſt bien ſeche.

La raiſon de tout ce que nous venons de remarquer eſt bien facile à trouver; car ſi une certaine quantité d'eau mêlée avec la poudre en peut empêcher totalement l'inflammation, il s'enſuit que l'humidité quoiqu'inſuffiſante pour produire un pareil effet, doit diminuer néanmoins la force de ſon exploſion, & rendre ſon inflammation moins vive & moins violente. Delà le fluide étant produit en plus petite quantité, & ayant moins d'élaſticité & de chaleur, doit par conſéquent avoir moins d'action, & cela dans le rapport inverſe de ſon humidité. Delà encore il ſera facile d'appercevoir pourquoi dans une ſaiſon humide la mauvaiſe poudre perd plus de ſa force que la bonne. En effet, le nitre n'y ayant pas été bien épuré, il entre toujours dans ſa compoſition un peu de ſel com-

mun, & comme ce ſel tire mieux que le nitre toute ſorte d'humidité, la mauvaiſe poudre doit contenir plus d'eau que la bonne On n'a pu juſqu'à préſent bien connoître de quelle maniere l'humidité influoit ſur la force de la poudre, c'eſt apparemment parce qu'on ignore les différents degrés de ſéchereſſe qu'elle acquiert dans la piece même. Car comme le canon s'échauffe après la premiere & ſeconde décharge, ſi la poudre y demeure quelque temps, une partie de l'eau qu'elle renferme doit s'évaporer. Or la chaleur du canon, & le temps pendant lequel la charge demeure dans la piece peuvent toujours varier : on ne pourra par conſéquent jamais bien déterminer ce qu'il fait d'évaporation, & quelle doit être la force de la poudre en conſéquence de ſon humidité.

Dans les temps bien ſecs j'ai trouvé que, dans le premier coup, cette même force étoit diminuée ſenſiblement par la froideur du canon ; pareillement, l'action d'une petite quantité de poudre doit (l'humidité étant égale) diminuer en plus grande raiſon que celle d'une

grande. Car, ainſi que nous l'avons vu, le feu produit par une petite charge a beaucoup moins de vivacité & de chaleur, que celui que produit une charge plus conſidérable ; le même degré d'humidité aura beaucoup plus de force contre un feu peu vif & peu ardent, que contre un autre qui le ſeroit davantage. La poudre humide doit auſſi, à cauſe du peu d'activité de ſon inflammation, laiſſer après l'exploſion beaucoup de craſſe dans la piece ; en effet, lorſque la poudre eſt bonne, le feu qu'elle produit eſt ſi violent qu'il a en un inſtant conſumé toute la ſubſtance, il n'en reſte plus que des cendres griſâtres diſperſées au dehors de la piece près de la bouche du canon ; & ſi la poudre laiſſe de la craſſe après elle, ce n'eſt que parce qu'une partie de cette même ſubſtance, n'eſt qu'imparfaitement brûlée, ſoit à cauſe de la froideur de la piece qu'elle touchoit, ſoit à cauſe des autres circonſtances qui peuvent en empêcher l'inflammation. Or l'humidité de la poudre, lui ôtant une partie de ſon activité, il eſt clair que dans ce

cas le feu pourra moins conſumer de matieres, & qu'il en doit par conſéquent reſter une partie dans le canon.

### SCHOLIE.

Le principe de tous nos raiſonnements dans cette Propoſition, a été que la poudre tire une partie de l'humidité de l'air qui l'environne. Il nous reſte maintenant à aſſigner cette quantité, & c'eſt ce que nous allons tâcher de faire par nos expériences.

Ayant mis ſur un papier blanc percé de pluſieurs trous une petite quantité de poudre, je le plaçai ſur la vapeur d'une eau chaude, & je trouvai que dans 30 ſecondes le poids de la poudre avoit été augmenté d'une cinquantieme partie; je recommençai la même expérience avec d'autre poudre; mais je la laiſſai plus long-temps ſur la vapeur, alors l'ayant peſée je trouvai ſon poids augmenté de $\frac{1}{24}$; & je remarquai que quelques grains s'attachoient enſemble ſans néanmoins changer de forme.

Pour éprouver enſuite ſi l'humidité de l'athmoſphere pouvoit pareillement

augmenter le poids de la poudre, j'en pris environ une once qui avoit été tenue quelque temps, dans une chambre où l'on faiſoit du feu tous les jours, & l'ayant fait ſécher devant le feu, je trouvai qu'elle avoit perdu une centieme partie de ſon poids, après quoi je la poſai à une certaine diſtance du feu, en moins de deux heures elle reprit un tiers du poids qu'elle avoit perdu.

Et comme le temps eſt ſouvent plus humide, que lorſque je fis cette expérience, & que de plus l'air d'une chambre eſt toujours moins chargé de vapeurs que l'air extérieur, il n'eſt pas douteux que l'eau ne ſoit quelquefois dans la poudre, la 20e. ou 30e. partie de toute la ſubſtance; ce qui peut aiſément produire tous les effets dont nous avons parlé dans cette Propoſition.

Au reſte, l'humidité de la poudre en altere toujours la force quoiqu'elle ſoit reſéchée, c'eſt ce que j'ai éprouvé.

Il eſt facile de voir par cette Propoſition, que les effets des quantités de poudres égales brûlées en un même temps, doivent être peu différents entr'eux; & même ſi on fait les expériences pendant

les trois mois d'été, quoiqu'en différents temps, elles s'accorderont assez bien, l'air n'ayant pas considérablement changé à cause de la sécheresse de la saison. Mais si on fait brûler en hiver, & dans un temps humide la même quantité de poudre qu'on avoit fait brûler en été, sa force sera de beaucoup moindre que celle qu'on lui avoit trouvée auparavant à moins qu'on n'ait eu le soin de la dessécher. Car si l'une & l'autre charge avoit été desséchée à un même degré, les effets auroient été les mêmes en hiver comme en été. Cependant si on avoit laissé humecter la poudre, sans prendre aucune précaution, ou que le sel commun qui y entre toujours pour quelque chose y fût en grande quantité, l'humidité seroit capable de dissoudre quelque partie du nitre qui en est la base, ce qui diminueroit de beaucoup la force de la poudre, & ne pourroit être réparé; mais lorsqu'on a soin de ne donner à la poudre qu'une humidité convenable, & qu'on a eu surtout la précaution de la bien purger de son sel commun, elle peut conserver sa force bien plus long-temps qu'on

ne le ſuppoſe ; & j'ai oui dire que la poudre, après cinquante ans, n'en étoit pas moins bonne, pourvu qu'elle eût été bien conſervée.

Il y a auſſi quelques meſures à garder lorſqu'on fait deſſécher de la poudre ; il eſt, par exemple, un degré de chaleur qui, quoiqu'inſuffiſant pour enflammer la poudre, ne laiſſe pas de faire fondre le ſoufre, & de décompoſer les grains. Il eſt même une chaleur qui peut faire enflammer le ſoufre, & le conſumer peu à peu ſans occaſionner néanmoins aucune exploſion. Il eſt facile de s'en convaincre en jettant par intervalles de petites quantités de poudre ſur un fer chaud ; vous remarquerez, lorſqu'il ſera parvenu à un certain degré de chaleur, que les grains ſéparés que l'on jette ſur le fer brûlent aſſez lentement avec une petite flamme bleue, & ſans aucune exploſion, ou ſi après avoir commencé par brûler de cette maniere, ils finiſſent par une exploſion ; ce n'eſt que parce que pluſieurs grains étant contigus les uns aux autres, leurs flammes réunies ſont capables d'occaſionner une exploſion générale,

quoique chacune en particulier fût insuffisante pour produire un pareil effet ; quelquefois même en faisant bien attention au degré de chaleur que devoit avoir le fer, & y étendant soigneusement les grains, j'ai couvert deux ou trois pouces quarrés d'une flamme bleue, & rampante qui duroit même assez long-temps sans aucune explosion ; & examinant les grains après l'opération, je n'y trouvai aucun changement ni dans la forme, ni dans la couleur; mais le soufre étant brûlé ou fondu, ils n'avoient plus l'action de la poudre ordinaire, & par conséquent si on la fait sécher sur un feu trop violent, on peut souvent en altérer & diminuer la force.

On voit donc clairement combien l'humidité & la sécheresse peuvent varier les effets de la poudre, & combien il est difficile dans la pratique de l'Artillerie, de faire des opérations bien exactes : on ne fait ordinairement aucune attention à cette circonstance ; aussi ne doit-on gueres se fier à des expériences où des différences si considérables peuvent avoir eu lieu, sans

qu'on y ait eu égard. Avant d'abandonner cette queſtion, j'expoſerai encore ici une penſée que j'avois eu autrefois concernant le même ſujet : comme l'eau étant raréfiée ſe convertit en vapeurs, qui ſont eſtimées communément dix fois plus élaſtiques que l'air, j'imaginai qu'en proportionnant bien l'humidité à la quantité de poudre, cette humidité étant par l'inflammation changée en un fluide élaſtique, pourroit augmenter la force de la poudre plus qu'elle ne la diminue en ôtant à la flamme une partie de ſon activité; j'étois même d'autant mieux porté à le croire que mes conjectures étoient appuyées par l'expérience d'un auteur qui n'exiſte plus, & qui aſſure avoir éprouvé qu'une bombe lancée avec le même mortier, & la même quantité de poudre avoient été portée à une diſtance beaucoup plus grande pendant les fraîcheurs du matin, que pendant les chaleurs du jour. Ces changements ne pouvant avoir d'autre cauſe que l'humidité, puiſque je me ſuis bien convaincu qu'ils ne pouvoient être occaſionnés par la denſité de l'air, comme l'avoit cru ce même auteur.

Néanmoins j'ai fait à ce ſujet les expériences les plus exactes, je n'ai jamais reconnu qu'aucun degré d'humidité pût augmenter la force de la poudre ; car dans toutes les expériences que j'ai faites, il ne m'a point paru que ſa force ſurpaſſât jamais ſenſiblement ſa force ordinaire & moyenne, excepté dans deux ; mais j'avois de bonnes raiſons pour croire que cette augmentation n'étoit occaſionnée, que par un dérangement dans la machine ; cependant il n'eſt pas impoſſible que le fluide produit par la raréfaction de l'eau, ſi ſon élaſticité eſt telle qu'on le croit ( ce qui reſte encore à prouver ) ne puiſſe contribuer à augmenter la force de la poudre lorſqu'elle eſt en grande quantité.

## PROPOSITION XI.

Trouver la vîteſſe avec laquelle ſe dilate la flamme de la poudre, en ſuppoſant que, placée dans un canon, elle n'ait devant elle ni boulet, ni aucun autre corps.

## SOLUTION.

Si toute la ſubſtance de la poudre étoit changée en un fluide élaſtique à l'inſtant de l'exploſion, l'élaſticité de ce fluide étant connue, & aſſignée par notre théorie ainſi que ſa denſité, on détermineroit aiſément la vîteſſe avec laquelle elle commenceroit à ſe dilater, & on calculeroit en conſéquence l'augmentation du fluide à meſure qu'il s'avance à travers le canon.

Mais nous avons démontré qu'il n'y a que les trois dixiemes de la ſubſtance totale de la poudre qui ſoient convertis en ce fluide qui fait toute ſa force. Les ſept autres dixiemes ſeront mêlés dans l'exploſion avec la partie élaſtique, dont ils doivent par leur poids diminuer l'activité. Ils n'en ſuivent pas néanmoins tout le mouvement, & ne ſont point portés hors du canon, comme il paroît par cette matiere onctueuſe qui reſte dans l'intérieur des armes à feu lorſqu'on en a fait uſage.

Ces inégalités dans la dilatation des

différentes parties de la poudre, nous obligent de recourir à des expériences pour les déterminer. Celles que je fis à ce ſujet étoient de deux eſpeces : dans la premiere, je chargeai un canon A
Fig. 2. avec 12 DW de poudre, & une petite bourre d'étoupe & la bouche du canon étant placée à 19 pouces du centre du pendule dont nous avons parlé dans la 7e. Propoſition, l'impulſion de la flamme lui fit décrire un arc dont la corde étoit de 13,7 de pouces, delà ſi l'on ſuppoſe que toutes les parties de la poudre allaſſent frapper le pendule avec une égale vîteſſe, la vîteſſe commune qu'acquerroit ces mêmes parties dans leur dilatation ſeroit de 2650 pieds par ſeconde. En effet, quand même on ſuppoſe que la vîteſſe du fluide élaſtique ſoit plus grande que celle des autres parties, la vîteſſe commune n'en ſera pas moins telle que nous l'avons aſſignée, puiſque celle du fluide élaſtique doit être diminuée par le poids des matieres groſſieres qu'il entraîne avec lui. Au reſte, comme une partie de la flamme ſe diſſipoit en paſſant à travers 19 pouces d'air, je répétai mes expériences d'une

maniere qui n'étoit point ſujette à cet inconvénient.

Je fixai le canon A de façon que ſon axe fût en même-temps horiſontal, & perpendiculaire au plan HK, ou ce qui revient au même, dans le même plan que les vibrations du pendule ; cet axe étoit élevé de 6 pouces au deſſus du centre du pendule ; le poids du canon, joint à celui du fer qui l'attachoit, étoit de 11 livres & demie. La charge étoit de 12 DW, ſans qu'il y eût ni balle ni bourre, la poudre ayant été ſeulement enfoncée par le refouloir ; toutes choſes étant ainſi diſpoſées la piece fut tirée, & le pendule monta ſuivant un arc dont la corde étoit de 10 pouces, & eût été de 14,4 de pouces, en ſuppoſant que le canon ayant baiſſé eût frappé directement le centre du plan HGIK.

Je répétai la même expérience, & je trouvai la corde de l'arc décrit par le pendule de 10,1 de pouces, qui eût été de 14,6 de pouces, en ſuppoſant que la poudre eût frappé le pendule à ſon centre.

Pour déterminer maintenant avec quelle vîteſſe ſe mouvoit chacune des

différentes parties qui compoſent la poudre, je chargeai de nouveau la piece avec 12 DW, & la refoulai avec un bouchon d'étouppe peſant 1 DW, imaginant que la bourre étant très-légere acquerroit à l'inſtant de l'exploſion, une vîteſſe égale à celle avec laquelle ſe dilateroit la partie élaſtique du fluide, ſi la poudre n'étoit point refoulée. Dans ce cas, la corde de l'arc décrit par le pendule ſe trouva être de 12 pouces; & en ſuppoſant l'impulſion faite au centre de 17,3 de pouces; & comme le terme moyen entre les réſultats des deux autres expériences eſt 14,5 de pouces, l'impulſion de 1 DW de matiere mue avec autant de vîteſſe que le fluide élaſtique, aura fait monter le pendule, d'un arc dont la corde eſt 2,8 de pouces, & par conſéquent la vîteſſe de ce DW de matiere, de 7000 pieds par ſeconde.

On pourra peut-être objecter contre cette maniere de déterminer la vîteſſe du fluide élaſtique, que l'augmentation de l'arc que décrit le pendule n'eſt pas entiérement due au mouvement que lui communique la bourre : mais

qu'elle eſt en partie cauſée par le refoulement de la poudre qui, dans ce cas, s'enflammoit en plus grande quantité. Mais s'il étoit vrai qu'il ne s'enflammât qu'une partie de la poudre, lorſqu'elle n'eſt point refoulée, il arriveroit qu'en enflammant dans une piece & ſans bourre différentes quantités de poudre, les cordes des arcs décrits par le pendule ne ſeroient point augmentées, & diminuées dans le rapport de ces quantités. Ce que j'ai cependant reconnu par expérience; car la charge étant de 9 DW, la corde étoit de 7,3 de pouces, à 12 DW elle étoit de 10,1 de pouces, & enfin à 3 DW la corde étoit de 2 pouces; pour que le réſultat de cette derniere expérience fût en proportion avec la quantité de poudre, il ne lui manquoit qu'un 0,5 & j'avois pluſieurs autres raiſons qui pouvoient expliquer ce défaut.

L'inflammation totale de la poudre, lorſqu'elle n'a point de bourre devant elle, eſt encore prouvée plus évidemment par la partie du recul provenant de la dilatation de la poudre, qui eſt beaucoup plus conſidérable lorſqu'elle

eſt obligée de chaſſer une balle devant elle, que lorſqu'elle eſt ſeule. Or nous avons vu que la poudre ſans bourre pouvoit, par la ſeule force de ſa dilatation, faire décrire au pendule un arc dont la corde étoit de 10 ou 10,1 de pouces, & nous avons pareillement trouvé, que ſi la piece étoit chargée à l'ordinaire avec de la bourre & une balle, le pendule montoit, ſuivant un arc dont la corde étoit dans une premiere expérience, de 22 $\frac{1}{4}$ de pouces, & dans la ſeconde de 22 $\frac{7}{8}$, ou prenant un terme moyen, la corde de cet arc fut de 22,56 de pouces; mais ſi on ſuppoſoit que la bourre & la balle ſeulement vinſſent frapper le pendule à l'endroit même où le canon étoit ſuſpendu, & avec la vîteſſe qu'elles avoient acquiſes au ſortir de la piece, le pendule décriroit un arc d'une corde de 12,3 de pouces, comme il eſt facile de le déterminer, puiſqu'on connoît le poids du pendule, le poids & la poſition du canon, & que de plus, la vélocité de la balle eſt connue par nos expériences précédentes; retranchant 12,3 de 22,56, le reſte 10,26, exprimera la corde de l'arc

l'arc que peut faire décrire au pendule la dilatation de la poudre, lorſqu'elle eſt comprimée par la bourre, & qu'elle a une balle devant elle, & ce nombre, comme on voit, differe peu de 10,1, qui étoit la corde de l'arc décrit par le pendule, lorſque la poudre ſe dilatoit librement, & ſans avoir ni bourre ni boulet devant elle.

D'ailleurs, une vîteſſe de 7000 pieds par ſeconde, ne ſurpaſſe point celle que peut acquérir dans ſa dilatation la partie élaſtique de la poudre. Car nous avons vu ci-deſſus, dans la troiſieme expérience, qu'une balle avoit été lancée avec une vîteſſe de 2400 pieds par ſeconde, & il paroiſſoit néanmoins que la poudre continuoit toujours d'agir ſur elle avec autant de force, malgré cette vîteſſe prodigieuſe. Par conſéquent la poudre obligée, en ſuivant le boulet, de le preſſer continuellement, devoit avancer avec bien moins de rapidité, que ſi elle n'eût rencontré aucun obſtacle devant elle, & la poudre ſeule renfermée dans la piece ſans bourre ni ſans boulet, ſe ſeroit dilatée avec une vîteſſe bien plus conſidérable.

C'eſt cette rapidité prodigieuſe dans la dilatation de la poudre enflammée, qui fait tout le prix des machines où l'on en fait uſage, & qui les met ſi fort au-deſſus de toutes les autres inventions tant anciennes que modernes. Il eſt vrai cependant que les anciens par leurs machines pouvoient communiquer à des projectiles, plus de mouvement que nous n'en communiquons à nos bombes & nos boulets les plus peſants; mais ils n'avoient jamais pu leur donner une vîteſſe auſſi prodigieuſe que nous le faiſons avec le ſecours de la poudre. Ils pouvoient bien par des poids ou des reſſorts élaſtiques, augmenter à tel degré qu'ils vouloient la puiſſance qui lançoit les projectiles; mais s'ils ajoutoient à cette puiſſance, ils étoient obligés d'ajouter auſſi au poids qu'il falloit mouvoir, ce qui faiſoit une eſpece de compenſation; en augmentant la force, il falloit auſſi augmenter le nombre des parties qui devoient communiquer leur mouvement au corps qu'on vouloit lancer. De maniere qu'une grande partie de cette force étoit employée à accélérer ces pieces de

la machine pour les mettre en état de pourſuivre le corps, & de lui communiquer une impulſion continuelle à travers l'eſpace où elles pouvoient s'étendre. Delà il arrivoit, que quoique les anciens par leurs machines puſſent lancer des poids énormes, ils ne pouvoient néanmoins leur donner qu'une bien petite vîteſſe en comparaiſon de celle de nos bombes & de nos boulets, & par conſéquent lorſqu'il s'agit de communiquer à un corps une grande vélocité, nos machines ſont préférables, & infiniment ſupérieures à celles des anciens, quoiqu'elles ſoient plus bornées, & ne puiſſent pas comme elles lancer toutes ſortes de poids. Ces dernieres ont cependant quantité d'avantages, qui peuvent les rendre dignes de l'attention de ces Militaires éclairés, qui ont aſſez de capacité pour embraſſer toutes les parties rélatives à la vîteſſe, & la force qu'on peut communiquer aux corps, & qui ne ſe laiſſent point prévenir par les préjugés de leur ſiecle.

En ſuivant les principes établis dans cette Propoſition, on peut auſſi déterminer la force des petards, puiſque leur

action ne dépend que de l'impulsion de la flamme. Au reste, il paroît qu'une quantité de poudre renfermée dans de pareilles machines, peut, par son inflammation, produire autant d'effet qu'un boulet d'un poids double du sien, & qui seroit mu avec une vîtesse capable de lui faire parcourir 14 ou 15 cents pieds par seconde.

## PROPOSITION XII.

Déterminer avec quelle force la flamme de la poudre pousse un boulet placé à une distance considérable de la charge.

### SOLUTION.

Nous avons, dans les expériences précédentes, placé le boulet ou contre la charge, ou à une petite distance de la charge ; mais cette distance n'avoit jamais passé un pouce & demi ; & nous avons trouvé dans ce cas que la théorie s'accordoit fort bien avec l'expérience. Mais si on supposoit le boulet éloigné de la charge d'une distance plus considérable : par exemple, de 12,18

ou 24 pouces, on ne pourroit appliquer au mouvement de ce boulet les principes dont nous avons fait uſage dans la 7^e. Propoſition, lorſqu'il étoit contigu à la charge, ou qu'il en étoit fort près. Car dans la dernière Propoſition nous avons vu que la flamme, lorſqu'elle ne rencontre aucun obſtacle, ſe dilate avec bien plus de vîteſſe, que lorſqu'elle eſt arrêtée par un corps peſant qu'elle eſt obligée de chaſſer devant elle. Par conſéquent la flamme dans l'eſpace de 12,18, ou 24 pouces aura acquis par ſa dilatation une vîteſſe conſidérable, de ſorte que le boulet ne ſera pas chaſſé par la preſſion continuelle de la flamme; mais ſeulement par ſa percuſſion, & il commencera par ſe mouvoir avec une quantité proportionnelle à la quantité de la flamme, & à la vîteſſe avec laquelle ſont mues ſes différentes parties.

Il ſuit delà que la vîteſſe d'un boulet placé à une diſtance conſidérable de la charge, doit être bien plus grande que celle que la preſſion continuelle de la poudre lui communiqueroit, ſuivant ce que nous avons trouvé dans la 7^e.

Propoſition. Cette conſéquence tirée de nos principes nous a été confirmée par beaucoup d'expériences ; & nous avons trouvé qu'un boulet placé à 11 pouces & $\frac{1}{4}$ de la charge, qui étoit de 12DW, avoit été chaſſé avec une vîteſſe de 1400 pieds par ſeconde, tandis qu'il n'en devoit parcourir que 1200 s'il eût été chaſſé par la preſſion continuelle de la flamme. Nous avons trouvé auſſi que la même choſe arrivoit toujours, quelle que fût la quantité de poudre & l'eſpace parcouru, ſoit qu'il fût plus grand que celui de l'exemple précédent, ſoit qu'il fût plus petit ( quoique dans ce cas la différence ne fût pas ſi ſenſible ) ; enfin nous avons remarqué que tous ces effets s'accordoient à peu près avec les principes établis dans la derniere Propoſition, touchant la vîteſſe avec laquelle la poudre ſe dilate, & l'élaſticité ou la non élaſticité de ſes différentes parties.

Il eſt bon à ce ſujet de faire une obſervation de grande conſéquence dans la pratique, c'eſt que la piece doit être bien épaiſſe & bien forte, pour qu'on puiſſe placer le boulet à une diſtance conſidérable de la charge. Car lorſque

la poudre dilatée à travers l'eſpace vuide vient à rencontrer le boulet, toutes les parties venant avec une vîteſſe prodieuſe s'accumuler ſur lui, ſe trouveront extrêmement condenſées, & ſi le canon n'eſt pas bien renforcé dans cette partie, l'élaſticité de la flamme le fera crever infailliblement. J'en ai fait l'expérience : ayant pris un mouſquet de fer d'une épaiſſeur aſſez conſidérable, je le chargeai avec 12 DW de poudre, & plaçant la balle à 16 pouces de la culaſſe, je mis le feu à la charge, & je vis la partie du canon, qui étoit entre la balle & la poudre, s'enfler du double de ſon diametre, comme une veſſie que l'on rempliroit de vent ; il ſe détacha même de la ſurface extérieure du canon deux pieces aſſez larges & de deux pouces de longueur.

Ayant remarqué que le mouvement du boulet, placé à une diſtance conſidérable de la charge, avoit deux cauſes, la percuſſion des différentes parties de la flamme, & enſuite ſa preſſion continuelle à travers la partie du canon qui lui reſtoit à parcourir, je tâchai de ſéparer ces différentes actions, & de ne con-

ſerver que celle qui provient de la preſſion continuelle de la flamme. Pour cet effet, je ne plaçai pas toute la poudre contre la culaſſe ; mais afin qu'elle pût ſe dilater en toute liberté, je la répandis uniformément dans tout l'intervalle qui ſe trouvoit entre la balle & la culaſſe, imaginant que par ce moyen la vîteſſe progreſſive de la flamme proviendroit de la dilatation ſucceſſive de toutes les parties. Le réſultat fut que la balle étant placée à 11 pouces & $\frac{1}{4}$ de la culaſſe, ſa vîteſſe, au lieu de 1400 pieds par ſeconde (comme nous l'avions trouvée par la derniere expérience) ne fut que de 1100 pieds dans le même eſpace de temps, ce qui ſe trouve de 100 pieds plus petit, que le nombre aſſigné par la théorie dans le cas de la preſſion continue de la poudre. Cette diminution dans la vîteſſe du boulet, provenoit ſans doute des mouvements contraires qu'avoient les différentes parties de la poudre dans l'intérieur de la piece. Car le fluide enflammé étant répandu dans un eſpace qu'il ne pouvoit parfaitement remplir, devoit éprouver des réflexions en tout ſens, & ces dif-

férentes agitations devoient ( comme il arrive pour tout fluide ), diminuer ſa preſſion ſur ce qui l'environnoit. J'ai tâché d'éviter ces irrégularités dans les expériences que j'ai faites, & j'ai eu toujours ſoin de renfermer la poudre dans le plus petit eſpace poſſible, & de ne jamais placer le boulet qu'à une petite diſtance de la charge.

## PROPOSITION XIII.

Examiner les différentes eſpeces de poudres, & donner une méthode ſûre pour en connoître la bonté.

### *SOLUTION.*

La poudre dont nous avons parlé juſqu'à préſent, étoit celle dont on ſe ſert pour l'Artillerie ; mais il en eſt d'autres de différentes eſpeces, ſoit de bonnes, ſoit de mauvaiſes ; & je me propoſe de faire ici l'énumération de toutes celles qui ſont parvenues à ma connoiſſance.

Auparavant, j'obſerverai que la poudre dont on ſe ſert dans le gouvernement, pourvu qu'elle ſoit bien travail-

lée, eſt d'auſſi bonne qualité que les autres. Je l'ai examinée avec un ſoin particulier, & je l'ai comparée avec les poudres qu'on fait ici, & qu'on croit être meilleures; telle eſt la poudre de Bataille, &c. je n'ai point trouvé de différence ſenſible entre leurs forces reſpectives : je l'ai auſſi comparée dans pluſieurs épreuves avec de la poudre d'Eſpagne, tirée du vaiſſeau *S. Iago*, & je trouvai que la poudre d'Eſpagne étoit la meilleure. Néanmoins c'eſt ſi peu de choſe, ( puiſque la force de notre poudre à canon ne différoit de celle de la poudre d'Eſpagne, que d'environ une cinquantieme à ſoixantieme partie) que cette différence ne peut gueres être déterminée. Je penſe auſſi en comparant les expériences des autres avec les miennes, que la poudre de France eſt à peu près de la même force que la nôtre ; quoique je ne puiſſe pas en être auſſi certain que je le deſirerois, n'ayant jamais pu m'en procurer. Au reſte, il faut ſe rappeller qu'en parlant de notre poudre à canons, j'entends une poudre faite avec toutes les proportions & les ſoins poſſibles ; car telle étoit celle dont je me ſervois.

La poudre la plus forte que j'aie encore vue eſt celle qu'on me dit avoir été faite en Hollande. Sa force eſt à peu près à celle de notre poudre à canon, comme 5 eſt à 4; mais elle avoit ſans doute été compoſée avec des matériaux choiſis & épurés, & on l'avoit probablement imbue d'une liqueur ſpiritueuſe. De maniere, que pour faire une grande quantité de poudre ſemblable à celle-là, la dépenſe excéderoit les avantages qu'on pourroit retirer de cette augmentation de force.

La meilleure poudre qui vient après celle-là, eſt celle de Portugal, faite ſous la direction d'un Hollandois qui, depuis quelques années, a établi des moulins à poudre près de Liſbonne; elle n'eſt pas ſi forte que la poudre de Hollande dont nous venons de parler; mais elle l'eſt encore plus que la nôtre.

La poudre qu'on vend communément en Angleterre, & qu'on trouve chez les épiciers, eſt de beaucoup inférieure à la poudre à canon; & cela plus ou moins ſuivant le caprice de l'ouvrier. J'en ai trouvé dont la force étoit à celle de la poudre d'Artillerie, comme

2 eſt à 3, d'autres étoient encore plus mauvaiſes. Mais je n'en connois point de plus mauvaiſe qualité, que celle qui eſt faite pour le commerce d'Afrique, & qu'on appelle communément poudre de Guinée; mais ces poudres ſi foibles, & dans la compoſition deſquelles on n'a gardé aucune proportion, ne valent pas la peine d'être examinées.

Ces différences dans la force de la poudre peuvent venir de trois cauſes; de la qualité des matériaux, des proportions qu'on a mis dans le mêlange, & enfin de la maniere dont elle a été travaillée.

La poudre, comme on le ſait, eſt compoſée de ſalpêtre; le ſoufre & le charbon ſont ce qu'il y a de meilleur marché; & quoique pour la compoſition de la poudre, il en faille choiſir une eſpece particuliere, néanmoins la dépenſe que cela occaſionne eſt toujours ſi petite, rélativement à ce que coûte la poudre, qu'il ſeroit étonnant qu'on en fît de mauvaiſe, pour y trop épargner le ſoufre & le charbon.

Ce qu'il y a de plus coûteux eſt le ſalpêtre, auſſi eſt-ce toujours ce qui manque lorſqu'elle eſt mauvaiſe. Le ſalpê-

tre eſt une ſubſtance que l'air forme dans la terre ; car une quantité de terre dont on aura tiré du ſalpêtre, étant expoſée à l'air pendant quelque temps en produira de nouveau, & cela autant de fois qu'on voudra répéter l'expérience. C'eſt une ſubſtance qui d'elle-même n'eſt point inflammable, car ſi on le jette dans un feu violent il brûlera ſans produire aucune flamme, à moins qu'il ne ſoit mêlé avec d'autre ſubſtance combuſtible ; s'il eſt joint à des corps inflammables, l'effet en ſera plus vif ; de même auſſi il augmente l'action de l'air, lorſqu'il eſt jetté dans le feu.

Delà, il ſuit qu'en mêlant du ſoufre & du charbon, qui ſont des matieres très-inflammables (quoiqu'elles le ſoient beaucoup moins que la poudre) avec le ſalpêtre qui, de lui-même, ne l'eſt pas ; ſi on met une trop grande quantité de ſalpêtre par rapport à celles des deux autres matieres, le feu ne ſera pas ſuffiſant pour conſumer tout le ſalpêtre, & l'exploſion ſera moins violente ; par conſéquent la poudre (par rapport à ce que nous avons obſervé dans la 10e. Propoſition) ſera beaucoup moins forte

que ſi on ôtoit une partie du ſalpêtre, & qu'on lui ſubſtituât une égale quantité de ſoufre & de charbon. Au contraire, s'il n'y a pas aſſez de ſalpêtre, le mêlange s'enflammera bien aiſément; mais le feu ſera moins actif & moins violent qu'il ne doit être, n'ayant pas cette vivacité que lui ajouteroit le ſalpêtre, qui manque au mêlange.

Ce n'eſt donc pas la quantité du ſalpêtre qui fait la bonté de la poudre, quoique ce ſoit lui qui produiſe le fluide élaſtique qui en fait toute la force. En effet, c'eſt par la violence du feu à l'inſtant de l'exploſion que le ſalpêtre eſt changé en fluide, & que ce fluide acquiert un grand degré d'élaſticité; il eſt évident que, pour produire ces effets, & par conſéquent pour faire de la bonne poudre, il faut garder certaines proportions dans la compoſition du mêlange.

L'expérience a appris quelles étoient celles dont il falloit faire uſage, & il paroît qu'on eſt généralement d'accord qu'une quantité de poudre doit être compoſée de $\frac{3}{4}$ de ſalpêtre, & de $\frac{1}{8}$ de ſoufre, ainſi que de charbon. Cette mé-

thode eſt reçue en France, & je crois dans toute l'Europe. Nous l'avons encore perfectionnée, & quoique la poudre compoſée ſuivant cette nouvelle méthode ne differe pas beaucoup de celle dont nous avons parlé, je la crois cependant préférable à l'autre, quoique cette différence ne ſoit pas conſidérable. Il ne s'agit pas ſeulement, pour faire de la bonne poudre, d'avoir fait entrer dans le mêlange les quantités de matieres néceſſaires, il faut encore qu'elles ſoient bien mêlées enſemble; autrement il ſe trouveroit des parties qui contiendroient trop de ſalpêtre, d'autres qui n'en contiendroient pas aſſez, ce qui diminueroit de beaucoup ſa force.

Comme ſa bonté dépend ordinairement de la qualité & quantité des matériaux qu'on y fait entrer, & du ſoin qu'on a eu de les bien mêler enſemble, il faudroit que ceux à qui on confie la garde des magaſins publics, ſuſſent bien connoître, lorſqu'on leur délivre de la poudre, ſi toutes les conditions néceſſaires ont été bien remplies. La méthode la plus commune pour éprouver la poudre

eſt d'en faire brûler un petit tas ſur une planche bien blanche, & d'obſerver la flamme & la fumée qu'elle produit, ainſi queles taches qu'elle laiſſe ſur la planche.

On peut, à ce qu'on prétend, déterminer par ce moyen la force de la poudre avec la plus grande exactitude ; mais je crois cette méthode inexacte, & je préſume que perſonne n'entreprendra de la défendre ; il en eſt encore une autre dont on ſe ſert, quoique moins communément, pour éprouver la poudre qui ſe vend chez les Marchands ; elle eſt plus ingénieuſe que la premiere : c'eſt une machine où la poudre, par le moyen d'un reſſort, fait mouvoir un certain poids, qui eſt une puiſſance conſtante & invariable.

Cependant cette invention, quoique plus parfaite que la premiere, ne remplit point l'objet qu'on ſe propoſe. En effet, le poids eſt mis en mouvement à la premiere impulſion de la poudre, & non par ſon action condenſée : & par conſéquent ſa force ne ſera point déterminée avec cette exactitude, & cette uniformité qui devroient accompagner des

des épreuves parfaites. Auſſi donnerois-je bien la préférence à la méthode que les François emploient pour le même ſujet.

Dans chaque magaſin, lorſque les Fabricants leur apportent leur poudre, ils ont un petit mortier de fonte avec ſon affût, (& les dimenſions en ſont les mêmes par tout le Royaume). On charge ce mortier avec trois onces de poudre, & une balle de 7 pouces & demi de diametre, & on le pointe ſous un angle de 45 degrés; ſi la balle n'eſt pas portée à la diſtance de 55 toiſes, la poudre n'eſt point reçue dans le magaſin. On objecte contre cette méthode, que ſi chaque baril de poudre devoit être éprouvé de cette maniere, lorſqu'il y en auroit un grand nombre, on ne finiroit plus; étant obligé chaque fois d'aller rechercher la balle, de ſorte qu'on ſeroit réduit à n'en éprouver que quelques-uns, ce qui donneroit aux Fabricants une grande facilité de faire paſſer un grand nombre de barils de mauvaiſe poudre, au moyen de quelques-uns qui en contiendroient de la bonne, ce qui feroit un tort conſidé-

rable lorſqu'on viendroit à s'en ſervir. Outre cette objection on lui en fait encore une autre qui me paroît être beaucoup plus forte ; c'eſt la prodigieuſe diſproportion qu'on met entre le poids du boulet & celui de la poudre, qui ſert à le lancer. Car, dit-on, la poudre étant obligée d'agir plus long-temps & de ſe dilater dans un plus grand eſpace, la vapeur ſe peut refroidir, s'échapper en grande partie à travers la lumiere, & entre la bombe & le mortier. De façon, que dans ce cas la quantité de mouvement n'eſt qu'un peu plus que la moitié de ce qu'elle devroit être ; mais ſi ces accidents n'ont pas lieu, ce qui peut toujours arriver, la poudre agira ſur le boulet avec toute ſa force & le portera beaucoup plus loin. De maniere que la même poudre pourra, en différents temps, produire des effets inégaux.

Cet inconvénient n'a pas lieu dans la méthode que j'ai donnée pour éprouver la vîteſſe des boulets chaſſés par des quantités de poudre proportionnées à leur groſſeur & à celle de la piece. La vîteſſe du boulet, quelle qu'elle ſoit, étant toujours connue par le mouve-

ment du pendule, (ſuivant les principes établis ci-deſſus); je crois que les François feroient bien de ſubſtituer cette maniere d'éprouver la poudre à celle qui eſt chez eux en uſage : cependant quoique ce moyen pour connoître la force de la poudre ſoit plus exact & plus expéditif que l'autre, on pourroit encore abréger les opérations, lorſqu'il s'agiroit d'éprouver un grand nombre de boulets, ce qui conſumeroit beaucoup de temps ; dans la pratique je ne me ſervirois point de cette méthode; mais d'une autre, qui n'eſt pas moins certaine, & qui va beaucoup plus vîte; le travail le plus long ce ſeroit de peſer la poudre qu'on prend dans chaque baril. De maniere que trois ou quatre hommes pourroient examiner 500 barils dans une matinée; outre cela la machine qu'on conſtruiroit pour cet effet, pourroit être d'une ſeule piece de fer, & coûteroit auſſi peu qu'on voudroit. Je différerai néanmoins pour le préſent de donner cette nouvelle méthode, & je paſſerai à mes obſervations ſur la réſiſtance de l'air, qui eſt dans l'Artillerie de la plus grande importance.

## CHAPITRE II.

*De la réſiſtance de l'air, & des lignes que décrivent les bombes & les boulets.*

IL eſt bon de faire obſerver, avant d'entrer dans un plus grand d'étail ſur ce ſujet, que la plupart des auteurs ont aſſuré, comme une regle invariable, que le milieu reſtant le même, la réſiſtance qu'un corps y éprouveroit étoit en raiſon doublée de ſa vîteſſe, c'eſt-à-dire, que ſi un corps ſe meut dans une partie du chemin qu'il parcourt avec trois fois plus de vîteſſe que dans l'autre, la réſiſtance qu'il éprouvera ſera 9 fois plus grande, que celle qu'il éprouve enſuite : s'il avoit quatre fois plus de vîteſſe, il éprouveroit 16 fois plus de réſiſtance. Cette maxime, quoiqu'elle ſoit très-fauſſe, ſi on la prend dans un ſens général ( comme nous le verrons ci-après), approche aſſez de la vérité dans quelques cas particuliers. C'eſt pourquoi nous ſuppoſerons dans nos

recherches ſuivantes, que cela demeure exactement vrai dans tous les petits changements de vîteſſe ; auſſi quand nous dirons que la réſiſtance du milieu augmente ou diminue, lorſque la vîteſſe augmente, je ne prétendrai pas qu'elle augmente ou diminue ſuivant cette loi : mais j'entendrai une réſiſtance plus grande ou plus petite que celle qui eſt aſſignée ſuivant ces principes ; & delà on concevra aiſément que la réſiſtance du milieu peut être augmentée ou diminuée par la différence de vîteſſe, comme par celle des denſités. L'objet principal de ce chapitre, eſt de prouver que, ſuivant les principes reçus, les différents degrés de vîteſſe des corps lancés peuvent à peine être diminués d'une quantité égale au triple de la denſité du medium à travers lequel il paſſe. Les Propoſitions ſuivantes prouveront d'une maniere inconteſtable, ce que nous venons d'avancer.

## PROPOSITION I.

Déterminer les principes généraux ſur la réſiſtance qu'un corps éprouve en ſe mouvant à travers un fluide.

### SOLUTION.

Pour bien concevoir quelle peut être cette réſiſtance, il eſt néceſſaire de diſtinguer entre les fluides qui, preſſés par quelque poids, occupent l'eſpace que le corps dans ſon mouvement laiſſe derriere lui, avec tant de promptitude qu'il ne peut jamais y avoir de vuide un ſeul inſtant, & entre ceux qui n'étant pas ſuffiſamment comprimés, tardent quelque temps à remplir la place que le corps vient d'abandonner; ces propriétés différentes dans les fluides, réſiſtant, font auſſi varier les loix de leur réſiſtance. Il eſt de la plus grande importance de ne le pas perdre de vue, lorſqu'on veut déterminer l'action de l'air ſur les bombes & les boulets. Car l'air, ſuivant le corps qui le traverſe approche plus de l'un ou de l'autre fluide. Si un fluide étoit tel que toutes les par-

ticules qui le compoſent fuſſent à une même diſtance les unes des autres ; & que l'une ne pût point agir ſur l'autre, il ſeroit facile d'eſtimer la réſiſtance par la quantité de mouvement communiqué à ces particules. Par exemple, ſi un cylindre ſe mouvoit dans un tel fluide, & ſuivant la direction même de ſon axe, il communiqueroit aux particules qu'il rencontreroit une vîteſſe égale à la ſienne & dans la même direction ; en ſuppoſant que le cylindre & les parties ſoient ſans élaſticité. Par conſéquent, ſi on connoît la vîteſſe avec laquelle ſe meut le cylindre & la denſité du fluide, on connoîtra la quantité de mouvement communiqué au fluide, & comme la réaction eſt toujours égale à l'action, la réſiſtance ſeroit auſſi connue.

Dans cette eſpece de fluide, les particules étant détachées les unes des autres, chacune d'elle peut ſuivre ſon propre mouvement dans une direction quelconque, ſans en être empêché par les parties voiſines au moins pendant quelque temps. C'eſt pourquoi ſi on ſuppoſoit que, dans ce fluide, on fît

mouvoir au lieu d'un cylindre un corps qui eût une ſurface oblique à ſa direction, le mouvement des parties qu'il rencontreroit ne ſe feroit point dans cette même direction ; mais ſuivant une autre qui ſeroit perpendiculaire à la ſurface oblique ; & par conſéquent la réſiſtance qu'éprouve un corps ne doit pas être eſtimée par le mouvement total communiqué au fluide ; mais ſeulement par celui des parties qui ſont mues dans la direction même de ce corps. De ſorte que dans les fluides, dont les parties ne ſont point liées enſemble, les différentes obliquités de la ſurface qui preſſe le fluide, peuvent faire varier conſidérablement la réſiſtance, quoique le nombre des parties déplacées ſoit le même ; Newton a trouvé que, dans un pareil fluide, la réſiſtance que rencontreroit un globe ne ſeroit que la moitié de celle qu'éprouveroit un cylindre de même diametre, mu avec la même vîteſſe, & dans la direction de ſon axe.

La ſuppoſition d'un tel fluide peut ſervir à expliquer la nature des différentes réſiſtances ; mais dans la réalité

il n'exiſte aucun fluide de cette eſpece, du moins on n'en a point connu juſqu'à préſent; tous ceux que nous avons ſous les yeux ſont compoſés de parties qui ſont liées entr'elles, ou qui agiſſent les unes ſur les autres, comme ſi elles l'étoient. De maniere qu'on n'y peut déplacer aucune partie, ſans en faire mouvoir en même temps un grand nombre d'autres qui en ſont ſouvent fort éloignées. Auſſi le mouvement ſe communiquant à la maſſe totale, n'aura aucune direction déterminée; mais ſera différent dans chaque particule, ſuivant les différentes poſitions qu'elles avoient par rapport aux autres, & à l'impulſion qu'elles en ont reçues. Par conſéquent la plupart d'entr'elles, ayant un mouvement oblique à la ſurface du corps, la réſiſtance qui ne conſiſte que dans la partie du mouvement communiquée dans la direction du corps même, ſe trouvera fort différente de ce qu'elle étoit dans l'hypotheſe précédente, & ſera bien plus difficile à déterminer.

Si les parties du fluide ſont preſſées par un poids qui les comprime, comme le ſont tous les fluides, excepté à leur

ſurface, & ſi de plus le corps qui les traverſe a une vîteſſe moindre que celle avec laquelle, en vertu de cette preſſion, ils doivent ſe précipiter dans les vuides qu'ils rencontrent, il eſt évident qu'alors l'eſpace que le corps laiſſe derriere lui ſera ſubitement rempli, & une partie du fluide que la premiere ſurface du corps pouſſe dans ſa direction, reviendra entourer le corps, & par-là ce reflux conſtant rétablira l'équilibre que ce corps détruit à chaque inſtant de ſa courſe; delà le mouvement progreſſif de ce fluide. Par conſéquent la réſiſtance que le corps éprouvera dans ſon mouvement ſera beaucoup moindre que dans notre premiere hypotheſe, où chaque parcelle étoit ſuppoſée acquérir une vîteſſe égale à celle du corps, & dans la même direction; & Newton a déterminé que la réſiſtance que le cylindre, ſe mouvant dans la direction de ſon axe, rencontreroit dans ce premier fluide, ſeroit quadruple de celle que lui oppoſeroit un fluide dont les parties ſeront comprimées, & qui auroit la même denſité.

Différents fluides n'ont pas ſeulement

différentes réſiſtances, ils ont encore chacun une maniere particuliere d'agir ſur les corps qui les traverſent, ſuivant que leur ſurface ſont diſpoſées : par exemple, nous avons démontré dans notre premiere hypotheſe, que dans le fluide que nous y avons ſuppoſé, l'obliquité de ſurface qui ſe préſente, diminueroit de beaucoup la réſiſtance ; mais dans les autres fluides, cette diminution n'eſt pas ſi conſidérable. Car, dans ceux-là la réſiſtance diminue en raiſon de la facilité que trouve le fluide à refluer autour du corps qui le preſſe : or que le corps ſoit une ſphere ou un cylindre, ou un cone, ce reflux ſe fera toujours à peu près de la même maniere ; & par conſéquent en ſuppoſant que la quantité de fluide ſoit toujours la même, quelle que ſoit la forme du corps qui ſe meut, la réſiſtance ſera toujours à peu près égale. Mr. Newton s'eſt particuliérement appliqué à conſidérer le mouvement des corps dans cette hypotheſe, où la réſiſtance eſt fort inférieure à la vîteſſe, que la preſſion du corps doit communiquer au fluide, & il a déterminé

la réſiſtance que rencontrent différents corps ſuivant les différentes amplitudes des courbes qu'ils décrivrent ; mais il a eu ſoin d'avertir que les regles qu'il a établies ne ſont pas généralement vraies.

Cependant quelques auteurs ignorants ont ſuivi ces regles, ſans faire attention à la remarque qu'il a fait, & les ont appliquées à tous les corps avec quelque vîteſſe qu'ils ſe meuvent, ſans avoir égard aux différentes compreſſions des fluides qui réſiſtent ; ainſi la réſiſtance qu'ils ont aſſignée pour les balles & boulets qui traverſent l'air, ne s'eſt trouvé que la troiſieme partie de celle que j'ai déterminée par des expériences.

En effet, de tout ce que nous avons vu ci-devant, il ſuit que la réſiſtance du milieu doit augmenter lorſque le corps ſe meut avec tant de vîteſſe, que le fluide ne peut remplacer immédiatement le vuide qu'il laiſſe derriere lui. Car dans ce cas, le corps ne ſera point ſoutenu par la preſſion du fluide qui, placé derriere lui, balance en quelque ſorte la réſiſtance, & ſupporte une partie du poids de la colonne du fluide, qui

peſe ſur le devant du corps qui ſe meut ; joignez à tout cela le mouvement communiqué aux parties du fluide qui ſont moins affectées par la compreſſion de celles qui les entourent, & ſont par-là moins détournées de la direction dans laquelle le corps les oblige à ſe mouvoir. De ſorte que la réſiſtance que le fluide oppoſe au corps en mouvement, ſemble approcher de plus en plus de celle que nous avions déterminée par l'hypotheſe où les parties du fluide étoient ſéparées les unes des autres, & pouvoient ſuivre leur direction ſans en être écartées par celles qui leur ſont contiguës ; comme c'eſt pour cette raiſon, que dans ce fluide la réſiſtance qu'éprouve le cylindre qui ſe meut dans la direction de ſon axe eſt quadruple de celle que lui oppoſe un fluide ſuffiſamment comprimé, il s'enſuit que lorſque le corps eſt mu dans un fluide avec aſſez de vîteſſe pour laiſſer un vuide derriere lui, il peut éprouver une réſiſtance quatre fois plus grande que celle que lui oppoſeroit ce même fluide, ſi la place du corps étoit remplie à l'inſtant même qu'il la quitte.

Car nous avons vu que, dans cette hypotheſe le fluide approchoit beaucoup de celui dont les parties ſont détachées les unes des autres.

Ce raiſonnement peut être appliqué au cylindre dont nous avons déja parlé, en ſuppoſant qu'il ſe meuve à travers un fluide comprimé, avec différents degrés de vîteſſe. De ſorte que s'il part avec une grande vîteſſe qui aille toujours en diminuant, il peut arriver que la réſiſtance ſoit quatre fois plus grande au commencement qu'à la fin de ſon mouvement. Si le corps eſt un globe, la différence ne ſera pas ſi conſidérable à cauſe de l'obliquité de ſa ſurface ; car, ainſi que nous l'avons déja dit, dans un fluide qui n'eſt pas comprimé la ſphere éprouve la moitié moins de réſiſtance qu'un cylindre de même diametre, ce qui n'arrive pas dans les fluides comprimés ; la convexité de la ſurface diminue cette réſiſtance dans ce cas, & non dans l'autre. Cependant lorſque les parties du medium ſont comprimées par le corps lancé, ces parties l'entourent, & delà dans un fluide élaſtique tel qu'eſt notre air, il y aura un même degré de

condenſation dans les parties du medium; il eſt très-probable que la réſiſtance qu'oppoſe un fluide comprimé à un corps qui ſe meut avec une grande vîteſſe, tient le milieu entre celles que rencontre le globe & le cylindre dont nous avons déja parlé ; c'eſt-à-dire, que cette réſiſtance eſt plus que double & moins que quadruple de celle qu'il devroit avoir, ſi la réſiſtance étoit ſimplement proportionnelle à la vîteſſe ; de maniere que nous ne nous éloignons pas beaucoup en ſuppoſant, dans le commencement du mouvement du globe, la réſiſtance qu'il éprouve eu égard à ſa vîteſſe triple de celle qu'il rencontre lorſqu'il ſe meut plus lentement.

Puiſque la réſiſtance augmente ſi conſidérablement, lorſque le corps eſt mu avec tant de vîteſſe qu'il laiſſe derriere lui un vuide parfait, il s'enſuit que lors même que la vîteſſe ſera beaucoup plus petite que la précédente, la réſiſtance ſera cependant encore ſenſiblement augmentée. En effet, quoique le fluide comprimé occupe la place du corps immédiatement après qu'il l'a quittée, cependant ſi la vîteſſe avec laquelle ces

parties viennent occuper ce vuide n'eſt pas ſi grande que celle du corps qui ſe meut, la réſiſtance doit être augmentée comme dans le cas précédent, quoique moins conſidérablement ; on ne peut pas ſuppoſer que cette augmentation de réſiſtance n'ait plus lieu ſi-tôt que le fluide a aſſez de vîteſſe pour ne laiſſer aucun vuide derriere le corps qui ſe meut ; mais on doit croire qu'elle diminue en raiſon inverſe de la vîteſſe avec laquelle les parties ſuivent le corps, & de l'excès de cette vîteſſe ſur celle du corps en mouvement.

Delà nous concluons que ſi un globe ſe meut dans le milieu, réſiſtant avec une vîteſſe beaucoup plus grande que celle avec laquelle les parties du fluide ſont ſollicitées par la compreſſion à entrer dans le vuide qu'il laiſſe derriere lui, ce globe dans ſon mouvement éprouvera une réſiſtance près de trois fois plus grande, eu égard à ſa vîteſſe, que celle qui, ſuivant la regle de Newton, lui ſeroit oppoſé s'il ſe mouvoit plus lentement ; il ſuit encore que la réſiſtance du milieu diminuera, lorſque le mouvement du globe commencera

mencera à ſe ralentir, juſqu'à ce qu'enfin le corps n'ayant plus qu'une vîteſſe fort petite par rapport à celle des parties du fluide, la réſiſtance ſe trouvera conforme aux regles établies par Newton, pour le mouvement dans les fluides comprimés.

On peut voir par-là, qu'il n'eſt pas abſolument vrai que la réſiſtance ſoit en raiſon doublée des vîteſſes; cela ne pouvant à peu près avoir lieu, que dans quelque circonſtance. Néanmoins ſi on compare les réſiſtances réelles, avec celles qu'on détermine par ce principe, on verra qu'on peut en faire l'application dans tous les cas, ſans une erreur conſidérable.

Ces principes généraux étant établis, nous allons examiner en particulier, & par des expériences, quelle eſt la réſiſtance de l'air, & nous ferons voir en même temps combien les obſervations qui ſeront faites à ce ſujet, s'accordent avec ce que nous avons dit ſur l'action de ces ſortes de fluides. Nous montrerons enſuite, combien ſe ſont groſſiérement trompés les auteurs qui ont cru qu'on ne devoit avoir aucun égard à la

réſiſtance que l'air oppoſe aux bombes & aux boulets, de toute eſpece.

## PROPOSITION II.

Déterminer par des expériences la réſiſtance que l'air oppoſe aux corps projettés.

### SOLUTION.

On a vu dans la 8e. Propoſition, que par le moyen de notre pendule, on pouvoit connoître la vîteſſe avec laquelle ſe meut un boulet dans une partie du chemin qu'il parcourt, pourvu que le pendule ſoit placé dans cette partie même. En conſéquence, je chargeai un fuſil avec une balle de plomb de $\frac{1}{4}$ de pouce de diametre, & une quantité de poudre dont le poids étoit à peu près la moitié de celui de la balle, & ayant pris toutes les précautions poſſibles pour bien arranger la charge, ( car dans ce cas la vîteſſe qu'on trouve ne differe tout au plus que de 20 pieds par ſeconde de la véritable vîteſſe), je tirai contre le pendule placé à 25 pieds de la bouche du canon, & la balle le frappa avec une

vîteſſe de 1670 pieds par ſeconde. Je rechargeai enſuite le fuſil encore deux fois de la même maniere, je le tirai, le pendule étant la premiere fois à 75 pieds, & la ſeconde à 125 ; je trouvai que la balle avoit une vîteſſe dans le premier coup de 1550 pieds par ſeconde, & dans le ſecond de 1425. Enſorte qu'en paſſant à travers l'eſpace de 50 pieds d'air, la balle perdoit une vîteſſe d'environ 120 ou 125 pieds par ſeconde ; le temps qu'elle mettoit à parcourir l'eſpace entre le pendule & le canon, étoit à peu près $\frac{1}{32}$ ou $\frac{1}{30}$ d'une ſeconde ; la réſiſtance moyenne aura dû être environ 120 fois le poids de la balle, ce qui fait à peu près 10$^{lb}$ *avoir du poids*, la balle étant égale à $\frac{1}{12}$ de livres.

Or en calculant ſuivant la théorie des fluides comprimés établie dans la 38$^{e}$. Propoſition des principes de Newton, ſi on ſuppoſe, que le poids de l'air, ſoit à celui de l'eau, comme 1 eſt à 850, on trouvera que la réſiſtance qu'éprouve un globe de $\frac{3}{4}$ de pouce de diametre, qui ſe meut avec une vîteſſe d'environ 1600 pieds par ſeconde, eſt ſeulement égale à une force de 4 livres & $\frac{1}{5}$ *avoir*

*du poids*; ce qui nous fait connoître que ces regles ne ſont juſtes que lorſqu'il s'agit de mouvements lents, & par conſéquent que la réſiſtance dans un mouvement rapide, eſt à ce qu'elle devroit être, ſi l'on calculoit ſuivant les principes établis pour les petites vîteſſes, comme 10 eſt $4\frac{1}{6}$, c'eſt-à-dire, dans un rapport qui eſt entre ceux de 2 à 1 & de 3 à 1.

Je chargeai de nouveau le fuſil avec une plus grande quantité de poudre & une balle de même poids, & tirant trois fois de ſuite avec la même charge & la même balle, contre le pendule placé à 25 pieds de la bouche du canon, je pris une vîteſſe moyenne entre celles qui me furent données dans ces trois coups, & je trouvai que cette vîteſſe pouvoit faire parcourir à la balle environ 1690 pieds par ſeconde; plaçant enſuite le fuſil à 175 pieds du pendule, je tirai encore cinq fois, & la vîteſſe moyenne ſe trouva être de 1300 pieds par ſeconde; par conſéquent la réſiſtance étoit dans ce cas entre 11 & 12 livres; c'eſt-à-dire, que lorſque le corps eſt mu avec une grande vîteſſe, la réſiſtance que

l'air lui oppoſe, eſt à celle qu'on aſſigneroit dans la théorie des mouvements lents, dans un rapport très-approchant de celui de 3 à 1.

Après avoir ainſi déterminé la réſiſtance de l'air, lorſque la vîteſſe eſt capable de faire parcourir au corps 1700 pieds par ſeconde, ce qui eſt ſuffiſant pour que le corps dans ſon mouvement laiſſe un vuide derriere lui, je me mis à examiner quelle ſeroit la réſiſtance ſi la vîteſſe étoit beaucoup plus petite. Pour cet effet, je chargeai mon fuſil avec une balle de même poids que celle dont je m'étois ſervi auparavant, mais avec une plus petite quantité de poudre; & ayant tiré cinq fois contre le pendule placé à 25 pieds du canon, la vîteſſe moyenne que je trouvai, étoit de 1180 par ſeconde. Eloignant enſuite le pendule de la diſtance de 250 pieds, & ayant encore tiré cinq coups, la vîteſſe moyenne ſe trouva être de 950 pieds par ſeconde; par conſéquent la réſiſtance que trouva la balle dans cet eſpace qu'elle parcourut en $\frac{3}{14}$ d'une ſeconde, étoit à peu près de 33 fois & $\frac{1}{2}$ le poids de la balle, ou de 2 livres

10 onces *avoir du poids* ; mais ſuivant la théorie de Newton, cette réſiſtance ne ſeroit que les $\frac{7}{11}$ de celle que nous venons de trouver ; par conſéquent lorſque le corps eſt mu aſſez vîte pour parcourir 1065 pieds par ſeconde, la réſiſtance ſe trouve augmentée à peu près dans le rapport de 7 à 11. Au lieu que, lorſque la vîteſſe étoit plus grande, elle étoit augmentée, ainſi que nous l'avons vu dans un rapport qui approchoit de celui de 1 à 3.

Je tirai enſuite dans une large piece d'eau trois coups de fuſil avec une même balle, & une même charge de poudre, de maniere qu'on pouvoit connoître le temps que la balle mettoit à parcourir l'eſpace qui étoit entre le canon, & la partie de l'eau où elle venoit ſe plonger, cet eſpace étant connu, & la balle au ſortir du canon ayant une vîteſſe capable de lui faire parcourir 400 pieds par ſeconde, ( ainſi que je m'en aſſurai par le moyen du pendule qui pouvoit déterminer la vîteſſe d'un corps, lors même qu'il ne parcouroit que 10 pieds par ſeconde ), dans le premier coup la balle employa 4 ſecondes & $\frac{1}{4}$ pour

courir 313 verges, dans le ſecond elle parcourut 319 verges en 4 ſecondes, & enfin dans le troiſieme il lui fallut 5 ſecondes & demie pour parcourir 373 verges, tandis que ſuivant la théorie elle auroit employé que 3″,2 pour parcourir le premier eſpace, 3″,28 pour parcourir le ſecond, & enfin 4″ pour parcourir le 3e. d'où il ſuit évidemment que la balle étoit beaucoup plus retardée qu'elle n'eût dû l'être ſuivant les principes de Newton, & par conſéquent la réſiſtance de l'air eſt conſidérablement augmentée, lors même que la vîteſſe du corps qui ſe meut n'eſt capable que de lui faire parcourir 400 pieds par ſeconde.

On voit donc clairement que la théorie ſur la réſiſtance de l'air, lorſqu'un corps eſt mu lentement, quoique établie par Newton, & confirmée par pluſieurs expériences, devient très-fauſſe ſi-tôt qu'on la veut appliquer au mouvement rapide des balles & des boulets; puiſqu'il peut arriver alors que la réſiſtance qu'elle donneroit ne ſeroit que près de la 3e. partie de la véritable réſiſtance. Au reſte, on peut dire que cette augmentation de réſiſtance

diminue, comme la vîteſſe du corps qui ſe meut, juſqu'à ce qu'enfin le mouvement devient aſſez lent, pour que les regles de la théorie précédente s'y trouvent obſervées. La réſiſtance n'eſt donc pas en raiſon doublée des vîteſſes; mais elle varie ſuivant le rapport dans lequel la vîteſſe du corps eſt avec la compreſſion du fluide. Il eſt donc certain que tous les auteurs qui ont déterminé le chemin parcouru par une balle ou un boulet, doivent s'être trompés puiſqu'ils s'appuyoient ſur de faux principes; & c'eſt ce qui empêchoit de faire des progrès dans l'Artillerie; mais il ne ſuffit pas d'avoir montré que la réſiſtance eſt beaucoup plus conſidérable qu'on ne l'avoit cru, lorſqu'un corps eſt mu avec une grande vîteſſe, il faut encore déterminer plus particuliérement cette augmentation de réſiſtance par rapport aux différentes vîteſſes, & ce ſera le ſujet de la Propoſition ſuivante.

## PROPOSITION III.

Aſſigner les différentes augmentations de la réſiſtance de l'air, ſuivant les différentes vîteſſes des corps qui ſe meuvent dans ce fluide. Fig. 4.

## SOLUTION.

Comme dans la pratique, la plus grande vîteſſe qu'on puiſſe communiquer à un corps eſt celle de 1700 pieds par ſeconde, je n'ai point fait d'expériences pour déterminer la réſiſtance qu'éprouveroient des corps mus avec une vîteſſe encore plus grande, penſant qu'il ſuffiſoit, pour remplir le but de ce traité, d'aſſigner les réſiſtances que l'air oppoſe à des corps dont la vîteſſe ſeroit plus petite : or la réſiſtance qu'éprouve un corps mu avec une vîteſſe moindre que celle de 1700 pieds par ſeconde, ſe peut toujours déterminerde cette maniere; ſoit deux lignes AB & AC, qui ſoient dans le rapport de la grande vîteſſe (*), avec la vîteſſe donnée du corps, qui éprouve dans l'airune réſiſtance inconnue. Prolongez AB en D, de maniere, que BD ſoit à AD, comme la réſiſtance de l'air calculée par la théorie dans l'hypotheſe où le corps parcourt 1700 pieds par ſeconde, eſt à la véritable réſiſtance que ce corps éprouve ; alors CD ſera à AD, comme la réſiſtance de l'air calculée

(*) 1700 pieds par ſeconde.

auſſi par la théorie, lorſque le corps eſt mu avec la vîteſſe donnée, eſt à la véritable réſiſtance qu'il éprouve, lorſqu'il eſt mu avec cette même vîteſſe.

## PROPOSITION IV.

Déterminer la vîteſſe que communique une charge ordinaire aux balles de mouſquet, & aux boulets de canon.

### SOLUTION.

Il eſt démontré par les calculs de la 7^e^. Propoſition du premier chapitre, que nous avons confirmés par pluſieurs expériences, que ſi on charge un fuſil de 45 pouces de long, avec une balle de plomb de $\frac{3}{4}$ de pouce de diametre, peſant environ une once un tiers, & avec une quantité de poudre égale à la moitié du poids de la balle, elle ſera chaſſée avec une vîteſſe de 1700 pieds par ſeconde.

Si au lieu d'une balle de plomb on en mettoit une de fer de même diametre, & que la quantité de poudre reſtât toujours la même, la vîteſſe de cette derniere balle ſeroit plus grande que celle de la balle de plomb, & ſeroit

avec elle dans le rapport ſous-doublé de la gravité du plomb à celle du fer ; ſi on ſuppoſe que ce rapport ſoit celui de 3 à 2, en calculant ſuivant les principes établis dans la 7^e. Propoſition, on trouvera qu'un boulet de fer du poids de 24^#, chaſſé par 16^# de poudre dans une piece de 10 pieds de long, eſt mu en ſortant du canon avec une vîteſſe, qui, ſi elle étoit uniformément continuée, lui feroit parcourir 1650 pieds en une ſeconde.

Telle ſeroit, ſuivant notre théorie, la vîteſſe d'un boulet de 24^# chaſſé par la plus grande charge de poudre dont on ſe ſert ordinairement ; mais ſi on ſuppoſe que la poudre peſe ſeulement la moitié, & non pas les deux tiers du boulet, alors il n'aura qu'une vîteſſe de 1490 pieds par ſeconde ; & la vîteſſe ſera la même pour tous les boulets, ſi leurs groſſeurs ſont toujours dans le même rapport avec la quantité de poudre, les longueurs & les calibres des pieces. Quoique dans les petites pieces d'Artillerie les dimenſions ne ſoient pas obſervées à la rigueur, néanmoins la différence n'eſt pas aſſez conſidérable pour faire un changement ſenſible dans la

vîteſſe que nous venons d'aſſigner, ainſi qu'on peut s'en convaincre aiſément par le calcul.

Dans ce que nous venons de déterminer touchant la vîteſſe des boulets, nous avons ſuppoſé le calibre ſeulement aſſez large pour que le boulet pût y entrer; mais dans la pratique il arrive ſouvent, ſoit par négligence ou par maladreſſe, que le diametre du calibre ſurpaſſe tellement le diametre du boulet, qu'une grande partie de la flamme s'échappe par les intervalles qu'il laiſſe. Dans ce cas la vîteſſe du boulet peut conſidérablement être diminuée, & ſe trouver beaucoup moindre que celle que nous venons de lui aſſigner. Il ſe peut faire néanmoins qu'une partie de cette diminution ſoit compenſée par la chaleur, que le canon doit acquérir par l'exploſion d'une ſi grande quantité de poudre, ainſi que nous l'avons obſervé dans la 6e. Propoſition.

### COROLLAIRE.

Cette vîteſſe prodigieuſe que nous venons d'aſſigner aux boulets, peut nous ſervir à expliquer cette difficulté qui a

fait faire à certains auteurs, qui ont écrit ſur la théorie de l'Artillerie, une hypotheſe bien étrange. Cette difficulté conſiſte à rendre raiſon de cette ligne qu'on ſuppoſe qu'un boulet décrit depuis la bouche de la piece, juſqu'à une certaine diſtance. Anderſon ayant trouvé, dans pluſieurs expériences, que la ligne tracée par un boulet ou une bombe, au commencement de ſon mouvement, étoit beaucoup moins courbe qu'elle ne devoit être (ſuivant les principes de Galilée,) lorſqu'on la comparoît avec le reſte de la courbe que le corps avoit enſuite décrite. Afin de concilier cette circonſtance avec ſa théorie, il a ſuppoſé que chaque boulet étoit mu ſuivant une ligne droite, juſqu'à une certaine diſtance, ou ce qui eſt le même, qu'en parcourant cet eſpace, il n'étoit pas affecté par l'action de la peſanteur. Il croyoit par ce moyen, défendre l'hypotheſe du mouvement parabolique, & il confirmoit l'opinion générale de tous les auteurs qui écrivoient ſur la pratique, & qui ont tous ſuppoſé la même choſe que lui; mais quand même on n'auroit point encore trouvé les

moyens de réſoudre cette difficulté, je ne croirois pas qu'il fût néceſſaire de donner une réfutation en forme d'une ſuppoſition auſſi fauſſe, que celle où l'on veut que la gravité ſuſpende ſon action. Si Mr. Anderſon a pu ſe tromper ainſi, c'eſt parce qu'il ignoroit combien la vîteſſe du boulet le plus peſant eſt diminuée conſidérablement par la réſiſtance de l'air. Il n'eſt pas plus difficile de faire voir l'erreur où ſont les Canoniers, lorſqu'ils s'imaginent qu'un boulet eſt mu en ligne droite juſqu'à une certaine diſtance, ( ils font cette diſtance imaginaire égale à la portée du boulet tiré verticalement ). Nous n'avons qu'à ſuppoſer pour cela, qu'ils n'aient pas pointé la piece avec la plus grande exactitude, & alors le boulet ſemblera, dans cette diſtance déterminée, ne s'être pas ſenſiblement écarté de la ligne droite. En effet, un boulet chaſſé par une quantité de poudre peſant les deux tiers de ſon poids, ne ſe ſera éloigné de ſa premiere direction lorſqu'il aura parcouru 500 verges, que d'un angle d'un demi-degré.

Or ſi on connoît le peu d'exactitude

qu'on apporte ordinairement dans la maniere de pointer les canons, on conviendra qu'un Canonier peut bien aiſément ſe tromper de ſi peu de choſe, & que par conſéquent la ligne tracée par le boulet doit paroître une ligne droite; ſur-tout lorſqu'il peut intervenir pluſieurs cauſes d'erreurs plus conſidérables que celles qui naiſſent de la courbure que donne la peſanteur d'un corps à la ligne qu'il décrit. Nous avons déterminé dans cette Propoſition la vîteſſe qu'on peut communiquer à un boulet par le moyen d'une charge qui peſe, ou la moitié, ou les deux tiers de ſon poids; ſi on augmente la quantité de poudre, on augmentera la vîteſſe du boulet. Ce ne ſera cependant que juſqu'à un certain point, paſſé lequel elle diminuera ſi on augmente la charge. On peut aſſigner auſſi & la quantité de poudre qu'il faut pour produire la plus grande vîteſſe, & le rapport de cette plus grande vîteſſe, avec celles que communiquent des charges plus ou moins fortes.

Soit AB l'axe de la piece, tirés la ligne AC perpendiculairement à cet Fig. 5.

axe, & entre les aſſymptotes AC & AB décrivez l'hyperbole LF, & tirez BF, parallele à AC ; cherchez maintenant un point D où le rectangle ADEG ſoit égal à l'aire hyperbolique DEFB, alors AD repréſentera la longueur de la charge, qui peut communiquer au boulet la plus grande vîteſſe poſſible. AD étant à AB, comme 1 eſt à 2,71828, ainſi qu'on le trouve par la Table des Logarithmes, la longueur AD ſera connue, & le calibre l'étant auſſi, on déterminera aiſément la quantité de poudre contenue dans cette charge.

Si à cette charge on en ſubſtitue une autre qui ſoit de la longueur AI, tirez la ligne IH, parallele à AC, & par le point H entre les mêmes aſſymptotes AC & AB, décrivez une hyperbole HK ; alors la plus grande vîteſſe ſera à celle que peut communiquer au boulet la charge AI, dans le rapport ſous-doublé du rectangle AE, à ce même rectangle diminué du triangle HKE. C'eſt une conſéquence qui ſe peut déduire aiſément des principes établis dans la 7^e. Propoſition du premier Chapitre.

PROP.

## PROPOSITION V.

Un boulet de 24lb tiré avec la plus forte charge de poudre qui ſoit en uſage, éprouve de la part de l'air, à l'inſtant qu'il ſort de la piece, une réſiſtance 20 fois plus conſidérable que celle de ſa gravité.

### SOLUTION.

Nous avons démontré dans la 2e. Propoſition de ce chapitre, que la réſiſtance que l'air oppoſe à une balle de $\frac{3}{4}$ de pouce de diametre, qui ſe meut avec une vîteſſe de 1670 pieds par ſeconde, étoit égale à un poids de 10lb, & dans la Propoſition précédente nous avons vu qu'un boulet de fer de 24lb, tiré avec 16 liv. de poudre (ce qui eſt la charge ordinaire lorſqu'on bat en breche) acquiert une vîteſſe de 1650 pieds par ſeconde, ce qui n'eſt pas fort différent de 1670. Par conſéquent la ſurface de ce boulet, étant plus de 54 fois auſſi grande que celle de la balle de $\frac{3}{4}$ de pouce de diametre, & leurs vîteſſes étant à peu près les mêmes, la réſiſtance de l'air ſe mon-

tera à plus de 5401ᵗᵇ, ce qui eſt près de 23 fois le poids du boulet.

## SCHOLIE.

Nous avons fait obſerver dans notre Préface, que tous les auteurs qui ont donné des théories ſur l'Artillerie, ont ſuppoſé que les bombes & les boulets décrivent des courbes paraboliques, & le principal objet des deux dernieres Propoſitions, a été de faire voir la fauſſeté d'une telle hypotheſe. Ces auteurs, pour appuyer leur opinion, ſuppoſent que l'air n'oppoſe aux projectiles que la plus petite réſiſtance, parce qu'en effet, ſi cela étoit, la courbe décrite ſeroit toujours une parabole; mais c'eſt un peu inconſidérément qu'ils avancent un tel principe, & qu'ils veulent que la réſiſtance de l'air ſoit trop peu de choſe pour détourner ſenſiblement les bombes & les boulets de leur direction naturelle.

Pour reconnoître la fauſſeté d'une pareille hypotheſe, il ſuffit de faire attention à cette prodigieuſe réſiſtance que l'air (ſuivant ce que nous avons démontré) oppoſe à un boulet de 24ᵗᵇ,

& que, cependant on regarde comme une force à laquelle on ne doit point avoir égard, quoiqu'elle ſoit égale à plus de 20 fois le poids du boulet. Mais nous ne nous contenterons pas d'avoir démontré que la réſiſtance de l'air eſt très-réelle & fort conſidérable, nous nous attacherons à examiner plus particuliérement les lignes que décrivent les corps dans ce milieu ; & nous prouverons par quantité d'expériences, que les courbes décrites par les projectiles ſont fort différentes de ce qu'elles devroient être, ſuivant les principes généralement reçus ; mais il eſt bon, avant de commencer, de reſumer ici quelques Propoſitions qu'on trouve démontrées dans tous les auteurs qui ont écrits ſur la théorie des corps tombants.

1. *Demande.* Si la réſiſtance de l'air eſt ſi petite que le projectile dans ſon mouvement décrive une parabole, l'axe de cette parabole ſera perpendiculaire à l'horizon, & par conſéquent la partie de la courbe, ſuivant laquelle le corps monte, doit être égale & ſemblable à celle ſuivant laquelle le corps deſcend.

2. *Dem.* Si les deux extrêmités de la parabole ſont dans un plan horizontal, le ſommet ſera également diſtant & de l'une & de l'autre.

3. *Dem.* La direction du corps, lorſqu'il tombe ſur ce plan, doit faire avec lui le même angle que, lorſqu'il montoit, & doit deſcendre avec la même vîteſſe qu'il avoit en montant dans les points correſpondants de la courbe.

4. *Dem.* Si le corps eſt projeté avec la même vîteſſe, mais ſous des angles différents, ce ſera ſous l'angle de 45 degrés qu'il décrira une courbe qui aura la plus grande amplitude poſſible.

5. *Dem.* Si on connoît la vîteſſe communiquée au projectile, on pourra déterminer ſa plus grande amplitude horizontale, en calculant, ſuivant les principes de la théorie ordinaire des gravités, l'eſpace que le corps doit parcourir pour acquérir la vîteſſe même avec laquelle il a été projetté, & le double de cet eſpace, ſera la plus grande amplitude horizontale, ou l'amplitude de la courbe que décrit le corps, lorſqu'il eſt projeté ſous un angle de 45°.

6. *Dem.* Les amplitudes horizontales

des courbes décrites ſous différents angles, & avec la même vîteſſe, doivent être entr'elles, comme les ſinus des angles doubles des angles de projection.

7. *Dem.* Si un corps eſt projeté ſous le même angle, & avec des vîteſſes différentes, les amplitudes ſeront entr'elles dans le rapport doublé de ces vîteſſes.

Ce ſont-là les principes ſur leſquels les auteurs modernes ont fondés leurs calculs ſur le mouvement des projectiles ; & ſi dans la pratique ils ne s'accordent pas avec le mouvement réel des corps projetés, & que ce corps dans ſon mouvement s'écarte de la courbe parabolique, en prouvant que ces propriétés de la parabole ne conviennent point à la courbe que décrit un projectile, nous aurons par-là même démontréla fauſſeté de la théorie moderne.

## PROPOSITION VI.

La ligne que décrit une bombe ou un boulet dans ſon mouvement n'eſt point une parabole, & n'approche pas même de cette courbe, à moins que le corps ne ſoit projeté avec bien peu de vîteſſe.

## SOLUTION.

Nous avons prouvé dans la 4^e. Propoſition de ce chapitre qu'une balle de mouſquet de $\frac{3}{4}$ de pouce de diametre, tirée avec la moitié de ſon poids de poudre, dans un canon de 45 pouces de long, eſt mue avec une vîteſſe de 1700 pieds par ſeconde. Or ſi cette balle décrivoit une parabole, alors la plus grande amplitude, ſeroit par la 5^e. demande d'environ 17 mille ; cependant tous les auteurs qui ont fait là-deſſus des expériences, aſſurent qu'elle n'eſt tout au plus que d'un demi-mille. Par exemple, *Diego Uſano* nous rapporte qu'ayant chargé une arquebuſe de 4 pieds de long, avec une balle de plomb de 1 once & $\frac{1}{2}$ ( ce qui approche de nos dimenſions ) & une quantité de poudre fine, de même poids, la balle fut portée à 797 pas ordinaires, la direction du canon étant entre 40 & 50 degrés. *Merſeanus* nous dit auſſi qu'il avoit trouvé que la portée d'une arquebuſe dirigée ſous l'angle de 45° étoit au-deſſous de 400 braſſes ou 800

verges *; & comme dans l'un & dans l'autre cas, la portée de la balle eſt toujours plus petite qu'un demi-mille d'Angleterre, il s'enſuit qu'une balle de mouſquet tirée avec une charge ordinaire ſous un angle de 45°, ſera portée ſeulement à une diſtance, qui n'eſt tout au plus que $\frac{1}{34}$ de celle qu'elle devroit parcourir, ſi elle étoit mue dans une parabole.

On ne doit pas être étonné de cette grande diminution dans la portée horizontale, ſi on fait attention que la réſiſtance qu'éprouve cette balle au ſortir du canon eſt égale à 120 fois ſa peſanteur, ainſi que nous l'avons démontré par des expériences dans la 2e. Propoſition du ſecond chapitre.

Mais, pour qu'on ne diſe pas que, quoiqu'une balle légere puiſſe s'écarter de la courbe parabolique, il ne s'enſuit pas qu'une autre balle d'un poids plus conſidérable, & qui doit par conſéquent éprouver une moindre réſiſtance, ne puiſſe ſe mouvoir dans une courbe ſuffiſamment approchante de la parabole; nous allons démontrer la même choſe

* La verge vaut trois pieds d'Angleterre.

pour un boulet de 24℔, le plus peſant de ceux qu'on emploie dans le ſervice de terre. Un pareil boulet chaſſé à travers une piece d'une dimenſion ordinaire par ſa plus forte charge de poudre, aura une vîteſſe de 1650 pieds par ſeconde, ainſi que nous l'avons déterminé dans la 4e. Prop. de ce chapitre ; & ſi pointant la piece à 45 degrés on calcule, ſuivant l'hypotheſe commune, quelle doit être la portée du boulet, on la trouvera d'environ 16 milles, ce qui fait cinq à ſix fois la portée réelle. Dans les expériences qu'a fait Mr. *du Metz*, & que nous rapporte *S. Remi*. On trouve qu'une piece de 10 pieds de long pointée ſous un angle de 45°, & chargé avec 16℔, porta un boulet du poids de 24℔ à 2250 toiſes françoiſes, ce qui fait trois milles moins 222 toiſes. Par conſéquent un boulet de fer de 24℔ chaſſé par ſa plus forte charge de poudre, ſous un angle de 45° ne parcourt pas la 5e. partie de l'eſpace horizontal qu'il devroit parcourir s'il décrivoit une parabole.

Mais ce ne ſont pas ſeulement les corps mus avec une grande vîteſſe, qui

s'écartent dans leur mouvement de la courbe parabolique. La même déclinaiſon ſe rencontre auſſi dans ceux qui ſe meuvent aſſez lentement, pour que l'œil puiſſe les ſuivre. En effet, il y a peu de ces projectiles, dont le mouvement s'accorde avec la 1ere, 2e, & 3e. demande, ils deſcendent preſque toujours ſuivant une ligne beaucoup moins courbe & inclinée, que celle ſuivant laquelle ils ſont montés; & le ſommet de la courbe qu'ils décrivent ſe rapproche toujours plus de l'endroit où ils tombent, que de celui d'où ils ſe ſont élevés. Ce ſont des vérités dont on peut ſe convaincre aiſément, en conſidérant d'un lieu propre pour cet effet, les courbes décrites par des pierres, des fleches, ou des bombes projetées à une diſtance conſidérable: j'ai trouvé pareillement que les 5e, 6e & 7e demandes ſe trouvoient fauſſes, lorſqu'on vouloit les appliquer aux lignes que décrivent des boulets mus avec peu de vîteſſe; une balle de plomb de trois quarts de pouces de diametre, tirée avec une vîteſſe de 400 pieds par 1", ſous un angle de 19°.5′, ne fut

portée qu'à la distance de 448 verges, au lieu qu'elle eût dû, sa plus grande portée étant de 1700 verges, en parcourir, (par la 6e. dem.) 1050; & par conséquent l'amplitude de la courbe qu'elle décrivit n'étoit pas seulement $\frac{3}{7}$ de ce qu'elle eût dû être, si la théorie communément reçue eût été vraie.

On tira ensuite plusieurs fois une autre balle avec la même vîtesse que dans la premiere expérience; l'angle d'élévation étant de $9°45'$, & la portée moyenne fut de 330 verges. Cependant par la 5e & 6e demande, si on a égard à la vîtesse, cette distance eût dû être de 566 verges, ou si on la déduit de l'expérience précédente, elle n'en auroit dû parcourir que 241. Or l'un & l'autre de ces nombres est fort éloigné de 330. Une balle ayant été tirée plusieurs fois sous un angle de 8°, avec une vîtesse de 700 pieds par seconde, la portée moyenne se trouva de 690 verges, au lieu qu'en calculant suivant la vîtesse de la balle, elle eût dû être (par les demandes 5e & 6e) de 1400 verges, d'où il paroît que le corps ne fit pas la moitié du chemin qu'il eût dû faire s'il eût dé-

crit une parabole. Enfin, ayant tiré encore une balle avec une même vîteſſe que dans l'expérience précédente; & ſous un angle de 4°, la portée fut de 600 verges; & ſi on eût cherché cette diſtance par la 6e demande, elle n'eût dû être que de 350 verges. Ce qui prouve que ce principe ne ſe peut appliquer aux courbes décrites par les projectiles, & par conſéquent que la théorie commune eſt très-fauſſe.

Nous venons de prouver que la courbe décrite par le boulet même le plus peſant, n'eſt point une parabole, & n'en approche pas même, à moins qu'il ne ſoit projeté avec une bien petite vîteſſe; mais nous renverrons à la ſeconde partie, une explication plus détaillée ſur la nature de la courbe, que ces corps décrivent; pour faire ſentir néanmoins combien ce ſujet eſt compliqué, je rapporterai ici une circonſtance fort extraordinaire, qui ſe rencontre ſouvent dans les expériences.

Comme la gravité agit perpendiculairement à l'horizon, il eſt évident que, ſi nulle autre force n'agiſſoit ſur le corps projeté en ligne droite, ſon

mouvement ſe feroit conſtamment dans un plan perpendiculaire à l'horizon, & dans ce plan ſeroit ſa premiere ligne de direction. Cependant on a trouvé que le projectile dans ſon mouvement s'écartoit tantôt à gauche, tantôt à droite, dans une ligne courbe & convexe vers le plan perpendiculaire. De ſorte, que la ligne que décrit un corps dans ſon mouvement ſe trouve avoir une double courbure, l'une vers l'horizon, qui n'a d'autre cauſe que la gravité, l'autre à gauche ou à droite, par rapport à ſa premiere direction, & qui eſt ſans doute occaſionnée par une force différente de la peſanteur. Dans ce cas aucune partie du mouvement d'un boulet ne ſe fait dans le même plan, & la ligne qu'il décrit ſe trouve dans la ſurface d'une eſpece de cylindre, dont l'axe eſt perpendiculaire à l'horizon. Nous allons par pluſieurs expériences démontrer la vérité de cette concluſion.

## PROPOSITION VII.

Un boulet qui traverſe l'air, non-ſeulement décline au-deſſous de ſa pre-

miere direction par l'action de ſa peſanteur ; mais encore eſt pouſſé, ou à droite ou à gauche par l'action de quelqu'autre force.

Si un boulet ne s'écartoit de ſa premiere direction que par la force de ſa gravité ſeule, il devroit arriver que s'il s'écartoit ou à droite ou à gauche du but auquel on viſe, cette déclinaiſon devroit augmenter dans la même raiſon que l'éloignement du but. C'eſt cependant ce que l'expérience contredit. En effet, une piece qui auroit porté ſon boulet à un pouce du but, le but étant éloigné de 10 verges, le portera à plus de 10 pouces, la diſtance étant de 100 verges, & à plus de 30 la diſtance étant de 300 verges. Cette augmentation dans la déclinaiſon du boulet, qui ne ſuit point le rapport des diſtances du but à la piece, n'a pu ſans doute échapper à ceux qui ſe ſont adonnés pendant quelque temps à la pratique : or cette inégalité ne peut venir, que de ce que la ligne décrite par le boulet eſt courbe par côté, auſſi-bien que vers la terre. Car dans ce cas, il eſt clair que la déclinaiſon du boulet augmenteroit en plus grande raiſon que

la diſtance du but. Cette diſtance n'étant, par rapport à la ligne décrite par le boulet, qu'une tangente, qui a, ainſi que cette courbe, ſon origine, à la bouche de la piece, en ſuppoſant que ce ſoit le point de contact.

Mais afin qu'il ne reſte aucun doute ſur ce que nous avançons dans l'eſprit de ceux qui ſont encore nouveaux ſur ces matieres, je rapporterai quelques expériences que j'ai faites. Je pris un canon de fuſil portant une balle de $\frac{3}{4}$ de pouces de diametre, & l'ayant placé ſur un affût peſant, je l'y aſſurai & ayant viſé contre une planche large de $1\frac{1}{7}$ de pied quarrée, & placée à 180 pieds du canon, je tirai 16 coups & ne manquai qu'une fois, ce qui m'aſſura que ſa direction étoit des plus juſtes; mais ayant enſuite tiré le même canon avec une moindre quantité de poudre, ce qui devoit rendre le coup plus ſûr, je trouvai que la balle à la diſtance de 760 verges, s'éloignoit tantôt à droite & tantôt à gauche de près de 100 verges de ſa premiere direction. J'ai trouvé auſſi les mêmes variations lorſque la balle

étoit tirée ſuivant une ligne perpendiculaire à l'horizon, puiſqu'elle tomboit des fois à 200 verges plus loin qu'elle n'étoit tombée auparavant ; quoique le canon n'eût point paru changer de poſition, & ſembla toujours reſter immobile.

On ne peut donc douter de la vérité de notre Propoſition, puiſque tous ces changements dans la direction du boulet ne peuvent arriver qu'en ſuppoſant, que la ligne qu'il décrit ſoit courbe ou du côté gauche, ou du côté droit.

## SCHOLIE.

On pourra peut-être me demander quelle eſt la cauſe de ce mouvement dans les projectiles, dont nous venons de démontrer la réalité, & qui eſt ſi différent de celui qu'on avoit ſuppoſé juſqu'à préſent ; à cela je réponds que cette déclinaiſon ne peut être attribuée qu'à quelque puiſſance qui agit obliquement ſur le boulet, & que cette puiſſance ne peut être autre choſe que la réſiſtance de l'air. Si l'on demande de plus, comment la réſiſtance de l'air ſe peut jamais trouver oblique par rap-

port à la direction du boulet, je réponds encore que cela peut bien être quelquefois occasionné par les inégalités de la surface du projectile ; mais que la cause ordinaire de cette variation dans la direction du boulet est sans doute son mouvement de rotation autour de son axe. Car par ce mouvement de rotation combiné avec le mouvement progressif, chaque partie de la surface du boulet frappera l'air dans une direction fort différente de ce qu'elle seroit sans ce premier mouvement ; & l'obliquité de l'action de l'air provenant de ce mouvement sera d'autant plus considérable, qu'il sera plus rapide par rapport au mouvement progressif.

Nous venons de voir, tout ce que je m'étois proposé de démontrer dans ce Traité rélativement à la force de la poudre, & à la résistance de l'air ; mais comme il n'est pas d'une moindre importance dans l'Artillerie, sur-tout lorsqu'il s'agit *de battre en breche*, de connoître la résistance que les corps solides opposent aux boulets, je terminerai ce Traité par une Proposition qui y a beaucoup de rapport.

PROPO-

## PROPOSITION VIII.

Si des boulets de même diametre, & même denſité viennent frapper un même ſolide avec des vîteſſes différentes, ils s'enfonceront à des profondeurs qui ſeront à peu près en raiſon-doublée de ces vîteſſes, & la réſiſtance des ſolides à l'action du boulet eſt toujours uniforme.

### SOLUTION.

J'ai découvert par beaucoup d'expériences la vérité de la premiere partie de cette Propoſition. En effet, une balle de plomb de $\frac{3}{4}$ de pouce de diametre, tirée pluſieurs fois contre un madrier de bois d'orme, avec une vîteſſe de 1700 pieds par ſeconde, pénétra depuis 4 pouces & demi juſqu'à 5 & demi de profondeur. Enſuite étant tirée avec une vîteſſe de 730 pieds par ſeconde, une partie de la balle, de la hauteur à peu près de $\frac{1}{4}$ de pouce, ſe trouva preſque toujours au dehors de la ſurface du bois; enſorte qu'en prenant un terme moyen, la cavi-

té pouvoit avoir environ un pouce de profondeur ; ou ſi l'on réduit cette cavité en cylindre, la longueur de ce balle tirée cylindre ſera de $\frac{7}{8}$ de pouce. La même de nouveau avec une vîteſſe de 400 pieds par ſeconde, s'enfonça environ à moitié ; & ſi on réduit en un cylindre la cavité qu'elle y laiſſa, ce cylindre aura $\frac{1}{4}$ de pouce de longueur.

Or les nombres 55,10,3 qui déſignent les longueurs des cavités cylindriques, ſont à peu près dans le rapport doublé des vîteſſes ; & par conſéquent ſi le boulet avec ſa plus grande vîteſſe pénetre à la profondeur de 5 pouces, il ne doit pénétrer avec les deux autres qu'à $\frac{10}{11}$ & $\frac{3}{11}$ de pouce, ce qui ne differe gueres de $\frac{7}{8}$ & de $\frac{1}{4}$ : on ne doit pas s'attendre à trouver jamais dans les expériences, un rapport plus exact, ſi l'on fait attention à la texture inégale du bois, & au changement qui ſe fait dans la forme de la balle dans les différents coups qui ſont tirés.

De ce que les profondeurs où les balles pénetrent, ſont en raiſon-doublée des vîteſſes, il s'enſuit que la réſiſtance du bois eſt uniforme, car il eſt démon-

tré que l'action de la peſanteur eſt uniforme, ſoit parce qu'elle communique aux corps des vîteſſes qui ſont en raiſon-doublée des eſpaces qu'ils parcourent en deſcendant, ſoit parce que les corps projetés verticalement s'élevent à des hauteurs qui ſont en raiſon-doublée des vîteſſes avec leſquelles ces corps commencent à monter.

# NOUVEAUX TRAITÉS

## AJOUTÉS AU PREMIER.

COMPTE RENDU d'un Livre intitulé : *Nouveaux principes d'Artillerie, contenant la détermination de la force de la poudre à canon, & de la réſiſtance que l'air oppoſe à des mouvements ou rapides ou lents, autant que cette réſiſtance influe ſur la force de la poudre à canon ; lu devant la Société royale, le 14 & 21 Avril 1743, & imprimé dans les Tranſactions Philoſophiques, n°. 469.*

CE Traité contient deux chapitres. Le premier traite de la force de la poudre à canon, & des vîteſſes communiquées aux boulets par ſon exploſion. Le ſecond a pour objet la réſiſtance que l'air oppoſe aux bombes & aux boulets, lorſqu'ils ſont mus avec une grande vîteſſe. On tâche d'y prouver que cette réſiſtance eſt beaucoup plus

conſidérable qu'on ne la croit communément, & par conſéquent que la ligne décrite par ces projectiles, eſt bien différente de celle que les auteurs modernes ont ſuppoſé qu'ils décrivoient.

Voici les points principaux qu'on tâche d'établir dans le premier chapitre. On y prouve d'abord que la force de la poudre enflammée n'eſt autre choſe, que l'action d'un fluide élaſtique que la poudre produit, & qui ſe conſerve encore après l'exploſion ; que ce fluide ſuit dans ſon action & ſon élaſticité les mêmes loix que l'air ordinaire, & par conſéquent que les vîteſſes communiquées aux boulets, peuvent aiſément ſe calculer d'après les regles établies pour déterminer l'élaſticité de l'air.

L'objet des deux premieres Propoſitions, eſt de prouver que la poudre à canon produit par ſon exploſion un fluide élaſtique. On emploie pour le démontrer des expériences les plus connues, qui ſont journellement répétées, & que doivent avoir vu tous ceux qui ont fait un cours de Phyſique expérimentale, puiſqu'elles en font toujours

partie. Enſorte que l'auteur préſume qu'il peut regarder ce principe comme inconteſtablement établi, du moins n'a-t-il jamais trouvé perſonne qui l'ait révoqué en doute.

Dans la troiſieme Propoſition, on prouve que l'élaſticité du fluide, produit par la poudre eſt, toutes choſes égales d'ailleurs, directement comme ſa denſité, & on le démontre par cette expérience. On fit tomber deux quantités de poudre, dont l'une étoit double de l'autre ſur un fer rouge, renfermé dans un récipient dont on avoit pompé l'air; & on connut par la deſcente du mercure, que l'élaſticité du fluide produit par la double quantité de poudre, étoit auſſi à peu près double de celle du fluide que l'autre quantité avoit produit. C'eſt-à-dire, que l'élaſticité étoit à peu près comme la denſité du fluide.

Mais, peut-être, on me dira qu'une ſeule expérience eſt un fondement trop foible, pour appuyer un principe auſſi important; puiſque tous les raiſonnements que nous ferons dans la ſuite, ſur la force de la poudre en doivent en quelque façon dépendre : à quoi on

peut répondre que ſi l'auteur a rapporté cette ſeule expérience, c'eſt parce qu'il y avoit employé une quantité de poudre aſſez conſidérable, puiſque c'étoit les $\frac{3}{16}$ d'une once : qu'outre celle-ci, il en avoit fait pluſieurs autres auſſi convaincantes, & dont il n'a pas cru néceſſaire de faire ici le détail.

S'il eſt quelqu'un néanmoins qui doute encore de la vérité de cette Propoſition, il peut voir les expériences que feu Mr. Hauksbée fit devant la Société, quoique pour un autre objet. Il y trouvera qu'en enflammant 26 quantités de poudre, on avoit fait baiſſer le mercure depuis 29 pouces & demi, juſqu'à 12 & $\frac{3}{4}$ ; & comparant ces expériences les unes avec les autres, il reconnoîtra aiſément que dans toutes ces circonſtances ſi variées, l'élaſticité du fluide étoit toujours à peu près comme la denſité.

On fait voir dans cette même Propoſition, que ce fluide eſt tout-à-fait ſemblable à l'air ordinaire, juſques-là que leurs élaſticités ſont égales, lorſque les circonſtances ſont les mêmes. En effet, ce rapport direct de l'élaſticité avec

la denſité eſt une propriété bien connue de l'air ordinaire ; & même d'autres auteurs qui, depuis Mr. Boyle, ont examinés les fluides produits par le feu, la diſtillation, &c. ont porté cette analogie beaucoup plus loin, & ont ſuppoſé que ces fluides ſont réellement de l'air, doué de toutes les propriétés de celui que nous reſpirons ; entr'autres le docteur *Hales*, qui a fait là-deſſus une ſuite d'expériences les plus exactes & les mieux imaginées, donne le nom d'air à tous ces fluides factices. En effet, ayant trouvé que leur poids étoit le même que celui de l'air ordinaire, que la chaleur les dilate, & le froid les condenſe ; que les changements de leurs denſités, ſuivent le même rapport que ceux de l'air ordinaire, & enfin qu'ils ont encore avec cet air pluſieurs autres propriétés communes, il en a conclu qu'ils étoient de même nature, & qu'on ne devoit leur donner d'autre nom.

Mais il n'eſt pas néceſſaire, pour remplir l'objet de ce Traité, de démontrer un rapport ſi parfait entre les fluides factices, & l'air ordinaire. Il nous ſuffit dans ce chapitre de poſer pour prin-

cipe que l'élaſticité du fluide, produit par la poudre eſt, toutes choſes égales d'ailleurs, directement comme ſa denſité, & que la force de la poudre n'eſt autre choſe que l'action de ce fluide modifié ſuivant cette loi. On a déja expoſé dans la 3^e. Propoſition les raiſons qui appuient la vérité du premier principe ; les huit Propoſitions ſuivantes ſont employées pour démontrer le ſecond.

Les loix qu'obſerve l'action de ce fluide étant déterminées, il ſe préſente deux méthodes pour connoître avec quelle force la poudre agit ſur les corps qu'elle pouſſe. La premiere, c'eſt d'examiner quelle quantité de fluide eſt produite par l'inflammation d'une quantité de poudre donnée, & de calculer en conſéquence, quelle doit être ſon élaſticité à l'inſtant de l'exploſion. L'autre, c'eſt de déterminer les vîteſſes réelles que l'action d'une charge connue communique aux boulets, dans des canons de différentes dimenſions. La premiere méthode eſt la plus facile, & les vérités auxquelles elle conduit ſe ſont mieux ſentir ; mais la ſeconde eſt

plus exacte. L'auteur s'eſt ſervi de l'une & de l'autre ; & comparant leurs réſultats, il a trouvé qu'ils s'accordoient mieux qu'il ne s'y étoit attendu, & cet accord eſt une preuve de l'exactitude de toutes les deux.

On détermine quelle eſt la quantité de fluide élaſtique que produit une quantité de poudre donnée, en la faiſant brûler dans un récipient dont on a pompé l'air, & en examinant de combien le mercure s'abaiſſe, & on a ſoin d'avoir égard au degré d'élaſticité que peut communiquer au fluide le fer renfermé dans le récipient ; mais comme on ne meſure ordinairement l'abaiſſement du mercure, que lorſque le fluide contenu dans le récipient eſt réduit à la température même de l'air extérieur, il eſt évident que l'élaſticité du fluide eſt beaucoup inférieure à ce qu'elle eſt réellement à l'inſtant de l'exploſion ; & par conſéquent pour eſtimer cette élaſticité, qui eſt la force cherchée, il faut connoître de combien elle peut être augmentée par la chaleur de la flamme à l'inſtant de l'exploſion. En conſéquence, dans la 5^e. Propoſition on

examine quel accroiſſement d'élaſticité peut recevoir une certaine quantité d'air ordinaire, d'un degré de chaleur égale à celle d'un fer rouge qui commence à blanchir ; & on y trouve en prenant un terme moyen, que cette élaſticité devient quatre fois plus grande qu'elle ne l'étoit auparavant. Delà comme le fluide produit par une quantité de poudre donnée a toujours, à peu de choſe près, 250 fois autant de volume que la poudre, il s'enſuit qu'en eſtimant l'augmentation de ſon élaſticité, à l'inſtant de l'exploſion, égale à celle de l'air dont je viens de parler, ſa preſſion deviendra 1000 fois auſſi conſidérable, que celle de l'athmoſphere, en ſuppoſant le fluide renfermé dans l'eſpace même qu'occupoit la poudre avant ſon inflammation ; ceux qui ne ſont pas au fait de ces ſortes d'expériences pourroient s'imaginer que l'élaſticité de la poudre à l'inſtant de l'exploſion, pourroit être immédiatement déterminée par l'abaiſſement ſubit du mercure dans le récipient ; mais pluſieurs circonſtances concourent à rendre cette méthode impraticable. On doit faire attention

ſur-tout qu'il reſte toujours un peu d'air dans le récipient, & qu'à l'inſtant de l'exploſion, cet air unit ſon action à celle du fluide. Joignez à cela qu'en changeant de tubes on peut varier les abaiſſements du mercure, quoique les circonſtances ſoient toujours les mêmes.

Par la méthode donnée ci-deſſus, on parvient à connoître que l'élaſticité du fluide produit par la poudre enflammée, & renfermé dans l'eſpace même que la poudre occupoit avant l'exploſion, eſt environ 1000 fois plus grande que l'élaſticité de l'air ordinaire, ou, ce qui revient au même, que la preſſion de ce fluide eſt 1000 fois auſſi grande que celle de l'athmoſphere.

Mais outre cette méthode de déterminer la force de la poudre, il en eſt encore une autre, qui quoique moins facile à ſaiſir, ( comme nous l'avons déja obſervé ) eſt cependant plus exacte. C'eſt d'examiner la vîteſſe que communique au boulet une charge donnée, dans une piece d'une longueur & d'un calibre donné. C'eſt le ſujet des 7^e, 8^e & 9^e Propoſitions.

Il eſt d'abord évident que pour pro-

céder à un pareil examen, il faut commencer par trouver un moyen de connoître la vîteſſe des boulets. Or les ſeuls moyens pour y réuſſir, connus juſqu'à préſent, ſe bornoient ou à examiner le temps que le boulet emploie à parcourir un eſpace donné, ou à trouver les amplitudes des courbes décrites par ces projectiles ſous un angle connu, & à calculer enſuite quelle devoit être leur vîteſſe dans l'hypotheſe du mouvement parabolique; mais la premiere méthode étoit impraticable, tant à cauſe de la briéveté du temps, que de la réſiſtance de l'air. La ſeconde l'étoit encore moins, puiſque les vîteſſes qu'on trouveroit en conſéquence de ces calculs, pourroient, à cauſe de la réſiſtance de l'air, différer de beaucoup des vîteſſes réelles.

Pour éviter toutes ces difficultés, l'auteur a inventé, pour déterminer la vîteſſe des boulets, une méthode qu'on peut perfectionner autant qu'on le voudra, & qui n'eſt nullement ſujette aux objections qu'on a fait contre les premieres. Par ce moyen on peut déterminer la vîteſſe du boulet, en un point donné quelconque du chemin qu'il par-

court, indépendamment de celle qu'il avoit avant de parvenir à ce point, & de celle qu'il auroit eu après l'avoir passé. Ensorte qu'on peut connoître non-seulement la vîtesse du boulet au sortir de la piece ; mais encore celle qu'il conserve après avoir traversé un espace donné. On peut donc bien facilement connoître combien la résistance de l'air peut diminuer cette vîtesse.

On donne dans la 8e. Proposition la construction de la machine dont on se sert pour cet effet. Son usage est fondé sur ce seul principe de méchanique : *que si un corps en mouvement en frappe un autre en repos, & qu'ils ne soient point séparés par le choc ; mais qu'ils continuent à se mouvoir l'un & l'autre dans une même direction, le mouvement commun est égal à celui du premier corps avant le choc.* Par conséquent la commune direction, & les masses des deux corps étant connues, le mouvement du premier corps avant le choc est par-là même déterminé. Il s'ensuit donc de ce principe, qu'on peut diminuer, autant qu'on le voudra, la vîtesse d'un boulet en lui opposant un obstacle d'un poids

proportionné au ſien ; & par le moyen de ces mouvements retardés, on pourra connoître les plus grandes vîteſſes avec leſquelles ils ont un rapport donné. Si on ſuſpend à un axe, un corps en forme de pendule qui ſurpaſſe de beaucoup la peſanteur du boulet dont on cherche la vîteſſe, comme on connoîtra par ſes vibrations la vîteſſe du pendule après le choc, & qu'on connoît d'ailleurs le rapport qui eſt entre le poids du boulet & celui du pendule, ainſi que la poſition de l'axe d'oſcillation, la vîteſſe du boulet avant le choc ſera déterminée, ainſi qu'il eſt expliqué fort au long dans la 8e. Propoſition. Il faut obſerver, que dans cette Propoſition on a oublié une circonſtance qui eſt, que la vélocité doit être augmentée en raiſon-doublée des diſtances des points d'oſcillation, & de percuſſion à l'axe de ſuſpenſion ; mais dans les expériences ſuivantes on s'eſt ſouvenu de ce principe, & les calculs y ſont très-exacts.

Après avoir donné les moyens de connoître par l'expérience, la vîteſſe avec laquelle ſe meut un boulet, il s'agit de connoître au moyen de ces

vîteſſes la force qui les a produites. L'auteur a jugé que la plus ſûre méthode pour bien remplir cet objet, étoit de calculer les vîteſſes en conſéquence des forces déterminées par la théorie, c'eſt-à-dire, en ſuppoſant l'élaſticité du fluide produit par la poudre 1000 fois plus grande que celle de l'air ordinaire. Car alors comparant le réſultat de ces calculs avec un grand nombre d'expériences, on verroit ſi la théorie peut déterminer avec exactitude cette force cherchée, & ce qu'on doit y ajouter ou en diminuer, ſuppoſé qu'elle ne s'accorde pas avec l'expérience.

Avant d'entreprendre ce calcul il établit dans ſa 7^e^. Propoſition, ces deux principes: 1°. que l'action de la poudre ſur le boulet ceſſe dès qu'il eſt hors du canon; 2°. que toute la poudre eſt enflammée, & convertie en un fluide élaſtique avant que le boulet ait été ſenſiblement mis en mouvement.

Dans la Scholie qui ſuit cette Propoſition, il rapporte les raiſons & les expériences qui l'ont porté à avancer ces deux principes. Il s'agit maintenant de la diſcuter plus au long. Si on prétendoit

prétendoit pouvoir déterminer la force de la poudre avec cette rigueur, & cette exactitude qui ſe rencontrent dans les démonſtrations géométriques, la premiere demande ſeroit ſans doute très-fauſſe, puiſqu'on ſait, à n'en pouvoir douter, que la flamme agit encore ſur le boulet après qu'il eſt ſorti du canon; mais on n'ignore pas que, lorſqu'on fait des expériences, il ne faut pas eſpérer une ſi grande préciſion. Ceux qui ont coutume d'en faire ſavent bien que, tantôt des changements inévitables dans les matériaux qu'ils emploient, tantôt les variations d'une circonſtance qui leur a échappée, occaſionnent des différences très-ſenſibles dans des expériences qui devroient être les mêmes. Ainſi celles qu'on a fait pour découvrir les loix de la colliſion des corps, ne ſe ſont jamais parfaitement accordées ni entr'elles, ni avec la théorie. Il en eſt de même des caſcades, des jets d'eau, & des expériences faites par Newton, pour la confirmation de la théorie ſur les réſiſtances; & quoique les réſultats de ces expériences different entr'eux & avec ceux de la théorie

d'un 20e. d'un 10e. quelquefois même d'un 5e. on n'a jamais prétendu que ces inégalités puſſent mettre obſtacle à la vérité de ſes concluſions ; il étoit même étonnant que ces épreuves différaſſent entr'elles de ſi peu de choſe. Si dans des expériences peu compliquées, il ſe trouve toujours néceſſairement quelques irrégularités, à plus forte raiſon doit-on ſuppoſer, que l'action d'une auſſi grande puiſſance que celle de la poudre, dérange toujours quelque choſe, & par conſéquent occaſionne des variations ſenſibles ; on peut voir en effet, dans la table des expériences inſérées dans la 9e. Propoſition, que les boulets étant tirés avec une même piece, & une même quantité de poudre, quoiqu'on ait eu ſoin de faire rencontrer les mêmes circonſtances autant qu'il a été poſſible, néanmoins les vîteſſes different entr'elles d'un 50e, d'un 40e. & même quelquefois de plus d'un 30e. de la vîteſſe totale.

L'auteur ne croit pas cependant, que de ſi petites différences puiſſent en aucune façon nuire aux conſéquences qu'il tire de ſes principes ; mais il penſe

que s'il eût prétendu, ſans faire part de ſa méthode, calculer la force de la poudre, & les vîteſſes des boulets en des circonſtances différentes, & à une moindre exactitude, on auroit pu le reprendre avec raiſon, comme ſe vantant d'exécuter ce qu'on croyoit impraticable.

S'il eſt donc vrai que l'action de la flamme influe ſi peu ſur le boulet, lorſqu'il eſt ſorti du canon, que l'augmentation de vîteſſe qu'elle produit puiſſe être détruite par les variations qui accompagnent toujours les expériences, il eſt auſſi raiſonnable qu'il eſt commode de n'y avoir aucun égard, & de regarder cette force comme nulle; ſi on ne ſuppoſoit pas de pareilles demandes, on ne pourroit avancer d'un ſeul pas dans la Philoſophie naturelle; & jamais on ne pourroit réſoudre un problême méchanique, ſi l'on faiſoit ſcrupuleuſement attention à toutes les irrégularités qui peuvent affecter la force mouvante. Ce qui a porté l'auteur à ſuppoſer cette demande, quoiqu'elle ne fût pas vraie à la rigueur, c'eſt la prodigieuſe dilatation de la flamme au ſortir de la bouche du canon; & il a cru

que l'action d'une petite partie de la flamme ſur le boulet, pouvoit être négligée ſans erreur, quoique l'impulſion de la flamme entiere fût très-conſidérable.

Quant à la ſeconde demande, ſavoir que toute la poudre eſt enflammée avant que le boulet ait été ſenſiblement mis en mouvement, l'auteur s'eſt cru obligé d'en donner une explication plus longue, attendu qu'un Comité, ayant été nommé derniérement pour examiner cette queſtion, a rapporté : * *que toute la poudre n'eſt point enflammée, avant que le boulet ſoit ſenſiblement mis en mouvement ;* il en a même aſſigné les quantités de poudre, qui n'ont pas pris feu dans différentes circonſtances.

Les déterminations du Comité ſont très-vraies ; mais l'auteur fait obſerver que la quantité de poudre qu'on rapporte avoir ramaſſée eſt ſi petite, que dans un canon d'une longueur ordinaire, chargé d'une quantité ordinaire de poudre, la diminution qui ſe fait dans la vîteſſe du boulet, à cauſe que toute la poudre n'eſt pas enflammée, ſera à

* Tranſactions philoſ. n°. 465, p. 172.

peine ſenſible. Cela eſt ſi vrai, que dans un canon le plus court que l'auteur ait employé, qui n'étoit pas de 5 pouces; & où par conſéquent le défaut de vîteſſe devoit être auſſi grand qu'il peut être, il ne s'eſt pas trouvé ſeulement êtrela 30e. partie de la vîteſſe totale. On peut donc lui accorder cette demande, quoiqu'elle ne ſoit pas abſolument vraie; mais avant d'entrer dans un plus grand détail à ce ſujet, il eſt bon d'expliquer ce qu'ont penſé là-deſſus les auteurs, dont les opinions avoient prévalues juſqu'ici.

Ceux qui, juſqu'à préſent, ont écrit ſur la maniere dont la poudre s'enflamme, ont tous ſuppoſé, que cette inflammation ſe faiſoit par degrés. Le premier grain communiquant le feu aux grains contigus, & ceux-ci aux autres qui les ſuivent. On croyoit même généralement que cette progreſſion du feu demandoit un temps conſidérable; car Mr. Daniel Bernouilli, dans ſon excellente *Hydrodynamique*, aſſure d'après quelques expériences faites à Peterſbourg, que la plus grande partie de la poudre eſt chaſſée hors du canon ſans

être enflammée, & que la petite portion qui s'enflamme ne prend ſouvent feu que lorſqu'elle eſt près de la bouche du canon. On a imaginé pluſieurs théories pour déterminer & le temps que le feu emploie à enflammer toute la poudre, & les différentes modifications que doit recevoir delà la force de la poudre; & on a généralement cru que pour aſſigner la longueur qu'on doit donner à une piece, il falloit s'appuyer ſur ce principe; ſavoir, que la piece doit être aſſez longue pour donner à la poudre le temps de s'enflammer.

Mais l'auteur a reconnu que l'inflammation de la poudre, ne ſe fait point ſuivant une progreſſion, ainſi qu'on ſe l'étoit imaginé. Ayant trouvé qu'en augmentant le poids du boulet, la force de la poudre n'étoit pas conſidérablement augmentée, quoiqu'elle eût demeurée dans le canon, le double du temps qu'elle y avoit demeurée lorſqu'on lui avoit oppoſé un plus petit boulet. Joignez à cela qu'en doublant & triplant la charge, il avoit toujours trouvé la vîteſſe du boulet proportionnelle à la quantité de poudre, & ayant

de plus remarqué que dans une piece de quatre pieds de long, chargée d'une quantité ordinaire de poudre, la vîteſſe du boulet dans les trois premiers pouces qu'il parcourt, eſt égale à la moitié de la vîteſſe qu'il acquiert lorſqu'il eſt arrivé à la bouche de la piece, & que l'élaſticité de la poudre dans les trois premiers pouces de ſon expanſion étoit, à un terme moyen, près de huit fois plus grande qu'elle n'eſt dans les deux derniers pieds du canon, il en a conclu que le temps que la poudre met à s'enflammer eſt trop court pour qu'on y ait égard, & que le feu s'eſt communiqué à la charge entiere avant que le boulet ait été ſenſiblement mis en mouvement.

Les expériences rapportées par le Comité prouvent auſſi inconteſtablement, que la poudre ne s'enflamme point par degrés, ainſi qu'on le ſuppoſe communément. En effet, un canon très-court ayant été chargé avec 12 deniers de poids * & enſuite avec 6 deniers de poids, la quantité de poudre qui fut ramaſſée dans le premier cas, priſe à un medium, ne ſur-

* Un denier de poids, ou DWT, vaut 24 grains.

paſſoit pas de trois grains celle qui le fut dans la ſeconde expérience, quoique la charge étant de 6 deniers, le boulet dût reſter plus long-temps dans le canon, puiſqu'il avoit un plus grand eſpace à parcourir. Enſorte que ſi une partie de la charge de 6 deniers ne s'eſt point enflammée, ce n'eſt pas faute de temps, puiſque dans la charge de 12 deniers, les 6 deniers ajoutés à la premiere charge ont employé moins de temps à ſe conſumer.

On ſubſtitua enſuite à la piece dont on vient de parler un autre canon, tellement raccourci que le boulet, quoiqu'il touchât la charge, étoit cependant preſque de niveau avec la bouche de la piece. De ſorte qu'il n'avoit qu'un demi-pouce à parcourir pour que la flamme pût ſe dilater librement. Néanmoins quoique le temps que mettoit le boulet à ſortir du canon fût ſi court, on ne trouva que deux DWT & 1 grain & demi de poudre qui ne fût pas enflammé; ce qui fait environ $\frac{1}{6}$ de toute la charge, ou ſi on le réduit avec plus d'exactitude $\frac{1}{12}$ de la charge. Cette expérience prouve évidemment, que la

poudre s'enflamme ſubitement, & qu'on ne commet qu'une bien petite erreur en ſuppoſant que toute la charge prend feu en un ſeul inſtant, puiſque la vîteſſe du boulet ne ſera tout au plus diminuée que d'un $\frac{1}{24}$

J'ai dit que la diminution de la charge que nous avons trouvé être de $\frac{1}{6}$ pouvoit ſe réduire à $\frac{1}{12}$ ; & cette aſſertion eſt fondée ſur les autres expériences que rapporte le Comité, & ſur leſquelles l'auteur appuie cette demande.

Il a ſuppoſé que la poudre dont il ſe ſervoit, & dont il a parlé dans ce Traité, étoit de celle que l'on compoſe pour l'Artillerie, & dont Mr. Walton lui avoit donné une certaine quantité ; mais ce qu'il y a de vrai, c'eſt que Mr. Robins avoit conſervé cette poudre à canon, pour en comparer d'autres avec elle, & celle dont il ſe ſervoit étoit d'égale force ; mais les grains en étoient égaux & beaucoup plus petits, & le Comité a trouvé qu'en paſſant par un tamis la poudre à canon, & ne ſe ſervant que des plus petits grains, la poudre qui ne s'enflammoit pas étoit en bien moindre quantité, & en prenant un

terme moyen, elle n'étoit que les $\frac{3}{5}$ de celle qui reſtoit lorſqu'on employoit la poudre ſans la tamiſer.

D'ailleurs on a trouvé que dans la poudre qu'on ramaſſe après l'exploſion, il y a moins de ſalpêtre que dans l'autre, à peu près dans le rapport de 7 à 9, & multipliant ce rapport par celui de 3 à 5, on aura le rapport de 7 à 15, par lequel il faut multiplier les quantités de poudre qu'on ramaſſe dans les différentes expériences qu'on peut faire, afin de connoître les quantités de poudre qui ne ſe ſont point enflammées dans des expériences pareilles à celles que l'auteur a fait.

Il ſuit delà, qu'en ſuppoſant le canon long de 5 pouces & $\frac{1}{3}$, de maniere que la balle pour ſortir n'ait que trois pouces à parcourir, le changement qu'occaſionnoit dans la force de la poudre ce qui reſtoit ſans s'enflammer, devoit être très-ſenſible. La quantité de poudre qui ne s'enflamme point dans l'exploſion d'une charge de 12 deniers, ne ſe monte tout au plus qu'à 16 grains à un medium ou $\frac{1}{18}$ de toute la charge, & comme, ſuivant l'expérience, les vî-

teſſes des boulets placés dans la même ſituation ſont dans le rapport ſous-doublé des charges, la diminution qui ſe fera dans la vîteſſe du boulet ne ſera que $\frac{1}{36}$, de cette même vîteſſe. Enſorte que le ruban du pendule qui égale la corde de l'arc qui meſure la vîteſſe du boulet, ne ſe trouvera raccourci que de $\frac{2}{10}$ de pouces. Or on ne doit point avoir égard à une différence auſſi petite, puiſque ſans cette circonſtance il s'en pourroit toujours trouver une conſidérable, entre les expériences répétées avec la plus grande exactitude.

Au ſurplus, il eſt quantité d'autres circonſtances qui peuvent compenſer la diminution occaſionnée dans la vîteſſe du boulet, par la partie de la charge qui ne s'enflamme pas ; mais tout ce que nous venons d'obſerver ſuffit pour juſtifier la demande de l'auteur ; ſurtout, les canons dont on ſe ſert dans la pratique étant beaucoup plus longs, par rapport à leur charge, que celui dont on a fait uſage dans les expériences précédentes. Enſorte que l'auteur penſe avec raiſon, que dans le calcul des vîteſſes communiquées aux boulets par

l'action de la poudre, on peut ſuppoſer en toute ſûreté, que la charge entiere eſt enflammée avant que le boulet ait été ſenſiblement mis en mouvement. Du moins les expériences faites par le Comité nous font préſumer, que la ſuppoſition d'un tel principe ne peut occaſionner qu'une erreur, à peu près ſemblable à celles qui proviennent de pluſieurs accidents inévitables.

Nous nous ſommes fort étendus ſur les preuves de ces deux principes, ſur-tout parce que le Comité ayant été chargé d'examiner le dernier, s'eſt déclaré contre lui, enſorte que ceux qui ne feroient pas aſſez d'attention aux raiſons de l'un & de l'autre parti, croiroient que par-là même tout ce que l'auteur avance ſe trouve renverſé : or ce ſeroit lui faire une grande injuſtice; car le principe qu'il ſuppoſe, il ne le regarde point comme rigoureuſement vrai; il ſavoit bien, comme il a fait obſerver dans cette Propoſition, qu'une partie de la poudre ne s'enflamme pas; il a même tâché d'en donner des raiſons; mais ſans inſiſter ſur la vérité de ſes conjectures; & il finit enfin par dire:

*quoiqu'il en ſoit, la vérité de notre principe ne ſauroit en général être révoquée en doute.*

Quoique les expériences rapportées par le Comité ſemblent, ainſi que nous l'avons vu, confirmer plutôt que réfuter la demande de notre auteur, il faut avouer néanmoins qu'elles renverſent totalement toutes les conjectures qu'il a faites, touchant les cauſes qui empêchent une partie de la poudre de s'enflammer. En effet, il ſuppoſe, d'après *Diego Uſano*, que la poudre portée hors du canon étoit éparſe dans la piece, & ſéparée du reſte de la charge, ou bien que les grains en étoient d'une compoſition moins propre à s'enflammer: or les expériences faites à cette occaſion détruiſent entiérement cette ſuppoſition.

Comme il n'eſt point néceſſaire pour ce Traité d'aſſigner les cauſes de cet accident, (car je ne crois pas qu'on puiſſe l'attribuer ſeulement au défaut de temps) nous n'entrerons pas dans un long détail à ce ſujet. Il eſt bon néanmoins d'obſerver, que dans les expériences du Comité, en calculant les

quantités de poudre ramaſſées à différentes fois, on fut porté à croire que la poudre qu'on trouvoit ainſi après l'exploſion, n'étoit autre choſe que des parties de grains qui avoient été enflammées, & enſuite éteints par l'exploſion avant qu'ils fuſſent entiérement conſumés. Cette conjecture étoit fondée ſur ce que les particules qu'on ramaſſoit étoient d'une extrême petiteſſe, & ne contenoient que fort peu de ſalpêtre. On peut encore ajouter qu'en échauffant par degré cette quantité de poudre, l'auteur l'avoit enflammée & avoit eu le temps de la ſouffler juſqu'à deux fois. Il recommencera cette expérience ſi l'on en doute.

Les demandes que nous venons de diſcuter peuvent en quelque ſorte ſervir de baſe à la 7^e^. Propoſition ; ſon objet eſt de calculer la vîteſſe que peut communiquer au boulet, une charge de poudre auſſi donnée, ſuivant les principes établis ci-deſſus, c'eſt-à-dire, en ſuppoſant l'élaſticité de la poudre enflammée 1000 fois plus grande que celle de l'air ordinaire.

Dans la 9^e^. Propoſition on compare

les réſultats de ces calculs, avec un grand nombre d'expériences, où l'on avoit employé pluſieurs canons de différentes longueurs, depuis 7 juſqu'à 45 pouces, & différentes quantités de poudre, depuis 6 deniers de poids juſqu'à 36. L'accord qui ſe trouve entre la théorie & ces expériences eſt tout-à-fait ſurprenant, & ſurpaſſe de beaucoup ce qu'on eût dû attendre dans un ſujet auſſi compliqué.

Ce rapport confirme ſéparément chaque partie de la théorie. Auſſi comme on a trouvé que différentes quantités de poudre enflammées dans une même piece & une même volée, communiquent au boulet des vîteſſes qui ſont, à peu de choſe près, dans le rapport ſous-doublé de ces charges, & cela indépendamment de la longueur du canon, on a conclu qu'il eſt très-vrai que l'élaſticité du fluide produit par la poudre, eſt à peu près comme ſa denſité; d'autant mieux que ces expériences réuſſiſſent, ſoit qu'on emploie de petites quantités de poudre & des petites pieces, ſoit qu'on en emploie de plus grandes; pourvu néanmoins qu'il n'y ait rien d'extraordinai-

re. Car ſi les charges étoient 100 fois auſſi fortes que celles dont s'étoit ſervi l'auteur, alors quoique cette théorie ne donnât pas les mêmes réſultats, elle approcheroit néanmoins à un degré d'exactitude près.

Il eſt donc à préſumer qu'on peut, ſans ſe tromper, évaluer à peu près par le ſecours de notre théorie, les vîteſſes communiquées à des bombes & des boulets par des charges données. Les expériences faites à ce ſujet doivent lever tous nos doutes; & l'auteur peut faire voir par les expériences qu'ont fait différentes perſonnes, que les loix qu'il établit, ſe trouvent à peu près obſervées dans la vîteſſe d'une bombe de 13 pouces de diametre, lancée par la plus forte charge de poudre.

Il eſt vrai que lorſqu'on ſe ſert de plus petites charges qu'à l'ordinaire, il peut ſe trouver des irrégularités, ainſi qu'on le peut voir à la fin de la 9e. Propoſition; & on peut dire que les expériences faites par le Comité, ſur l'effet des petites volées, ſont dans ce cas-là; mais lorſqu'on emploie une quantité de poudre ordinaire, les vîteſſes ſont parfaite-

parfaitement égales à celles que la théorie assigne, & il paroît que ces vîtesses sont beaucoup plus grandes qu'on ne pensoit ; nous avons même tout lieu de croire, suivant la théorie, que les vîtesses des boulets surpassent encore celles qui sont assignées par les calculs.

Déterminer la force de la poudre & les vîtesses des boulets, trouver une méthode de connoître au juste ces vîtesses par des expériences, sont des points très-essentiels, & d'où dépendent la formation & la perfection de l'Artillerie. Si l'on fait donc attention aux grands avantages que tout État retire d'une Artillerie bien ordonnée, l'auteur se flatte que, quelque succès qu'ait son ouvrage, on lui saura néanmoins bon gré d'avoir employé ses talents & son industrie dans une partie qui, quoiqu'elle appartienne aux plus hautes Sciences, & qu'elle soit de la plus grande importance, avoit cependant été négligée jusqu'à présent ; ou du moins on ne l'avoit considérée que si superficiellement qu'elle est restée dans un état beaucoup plus imparfait que celui des autres arts.

Quant au ſecond Chapitre de cet ouvrage, où l'on traite de la réſiſtance de l'air, l'auteur ſe propoſe d'y joindre, ainſi qu'il l'a annoncé dans ſa Préface, une ſuite d'expériences ſur les courbes décrites par les boulets, & comme il ſe propoſe de faire ces expériences cet été, à moins que quelque obſtacle imprévu ne l'empêche, il differe juſqu'à ce temps de toucher au ſujet de cette ſeconde partie, étant dans le deſſein d'expoſer à la Société le réſultat de ſes expériences, afin de prévenir toutes les objections, & les difficultés qu'on pourroit lui faire.

*En conſéquence Mr. Robins a compoſé les cinq Traités ſuivants, qu'on imprime pour la premiere fois, d'après ſon manuſcrit.*

## N°. I.

### *De la réſiſtance de l'Air.*

TOus les auteurs dans leurs recherches philoſophiques ont bien reconnu ( du moins je le préſume ), que la réſiſtance que l'air oppoſe aux projectiles, augmente en même temps que leurs vîteſſes ; mais ils ont tous ſoutenu que cette réſiſtance ne pouvoit jamais aſſez influer ſur le mouvement de ces corps, pour qu'on dût y avoir égard dans l'évaluation de leurs volées.

Tel étoit le ſentiment, je ne dis pas ſeulement des Canoniers, dont les opinions pleines d'erreurs ſont la plupart du temps mépriſées ; mais des hommes même les plus ſavants, de ces grands Mathématiciens dont les ouvrages célebres ſur le mouvement des projectiles & ſur l'Artillerie, ſont généralement eſtimés & ſuivis. Je pourrois en citer pluſieurs ; en effet, quantité de Géometres, qui ont donné ſur ce ſujet des ouvrages fort étendus, y aſſurent que la

réſiſtance de l'air eſt trop peu de choſe, pour qu'on doive y faire attention ; & aucun d'entr'eux, que je ſache, n'a jamais attaqué directement cette ſuppoſition, quoique la fauſſeté en ſoit aſſez démontrée, ſi l'on ramaſſe tout ce que chacun en particulier a pu avancer à ce ſujet, ou remarquer ſur les loix du mouvement des projectiles. Enfin, je crois en toute aſſurance pouvoir affirmer que généralement tous ceux qui n'ont étudiés que les théories des autres auteurs, ſont perſuadés *qu'un projectile dans ſon mouvement, ſuit toujours une courbe parabolique, & par conſéquent que la réſiſtance que l'air lui oppoſe, ne peut avoir une force ſenſible.*

Comme les préjugés des grands hommes ont toujours beaucoup de poids, & que dans ce cas ils ſe trouvent diamétralement oppoſés aux vérités que j'entreprends d'établir, j'ai cru devoir appuyer mes principes, & ſur les expériences que j'ai faites moi-même ; & ſur celles des autres qu'on ne pourra m'accuſer d'avoir tronquées ; il ne faut rien négliger lorſqu'il s'agit d'attaquer des opinions à qui les temps & des

auteurs illuſtres ont donné tant d'autorité ; & qu'il eſt néanmoins ſi néceſſaire de détruire ; car tant qu'elles ſubſiſteront, la théorie ne peut être qu'imparfaite, & la pratique pleine d'erreurs. En effet, la réſiſtance de l'air étant, comme j'en ſuis perſuadé, la ſeule ſource de toutes les difficultés qui ont juſqu'à préſent ſi fort embarraſſé dans l'étude de l'Artillerie, tant que la réalité & la force de cette réſiſtance ne ſera point reconnue & établie, il ſera impoſſible de faire aucune des découvertes qui en dépendent, & toutes celles qu'on pourroit propoſer là-deſſus ſeroient traitées de ridicules & de chimériques.

Mais il eſt néceſſaire, pour mieux renverſer les anciens préjugés, de commencer par établir deux Propoſitions ; ſavoir.

1°. Que la réſiſtance que l'air oppoſe à un boulet de fer du poids de 12$^{lb}$, & qui ſe meut avec une vîteſſe de 25 pieds par 1$''$ n'eſt jamais moindre que l'effort d'une demi-once *avoir du poids*.

2°. Que la réſiſtance eſt à peu près en raiſon-doublée des vîteſſes, c'eſt-à-

dire, que ſi un corps eſt mu avec deux degrés de vîteſſe, il éprouvera 4 fois autant de réſiſtance que s'il n'en avoit qu'un ſeul; qu'avec trois degrés de vîteſſe il en éprouvera 9 fois autant, & ainſi de ſuite.

Ces deux Propoſitions peuvent être aiſément déduites des expériences que rapporte Mr. Newton, dans la 8e. Section du ſecond livre de ſes Principes; mais pour prévenir toute objection, & ne laiſſer aucun doute, je ne me contenterai point de recourir à des autorités, & je me propoſe d'en prouver moi-même la vérité, par des expériences que je répéterai devant la Société royale, & qui en ſeront une démonſtration ſenſible & inconteſtable.

Quant à la 2e. Propoſition, il eſt très-vrai que, dans quelques cas, les loix qu'elle établit ne ſont pas obſervées à la rigueur; mais la réſiſtance y eſt toujours augmentée, & jamais elle ne diminue. Or on doit ſe rappeller que ce n'eſt pas maintenant le cas d'aſſigner rigoureuſement les loix qu'obſerve cette réſiſtance. Il me ſuffit de prouver combien elle eſt conſidérable, & mérite notre

attention dans la théorie des projectiles.

Comme j'ai répété les expériences qui devoient me ſervir à prouver ces deux Propoſitions, & que j'en ai préſenté le réſultat à la Société, j'eſpere qu'elles ne me ſeront plus conteſtées. C'eſt pourquoi je ſuppoſerai, pour un inſtant, que la quantité de réſiſtance que nous avons aſſigné pour un boulet de 12$^{lb}$, qui ſe meut avec une vîteſſe de 25 pieds, ſoit la véritable réſiſtance qui lui eſt oppoſée; il s'enſuit que ſi la vîteſſe du mobile eſt de 100 pieds par 1″, la réſiſtance qu'il rencontrera ſera de 16 fois une demi-once ou d'une demi-livre; ſi ſa vîteſſe eſt de 500 pieds par 1″, la réſiſtance ſera égale à peu près à 12$^{lb}\frac{1}{2}$; ſi elle eſt de 1000 pieds, la réſiſtance ſera de 50$^{lb}$; & enfin ſi elle eſt de 1700 pieds, la réſiſtance ſera de 144$^{lb}\frac{1}{2}$; & comme cette derniere vîteſſe eſt à peu près celle de tout boulet de 12$^{lt}$ tiré avec une charge ordinaire, & que le nombre 144$^{lb}\frac{1}{2}$ approche beaucoup du produit de 12 par 12, il s'enſuit que la réſiſtance que rencontre un boulet de 12$^{lt}$ eſt égale à 12 fois ſon poids, lorſqu'il eſt chaſſé, comme nous l'avons

déja dit, par une charge ordinaire. On voit donc évidemment la fauſſeté de l'opinion où l'on ſuppoſe qu'on peut toujours déterminer le mouvement d'un corps, étant connue ſimplement ſa vîteſſe & ſa gravité, tandis qu'une force auſſi conſidérable que 12 fois ſa peſanteur le détourne ſans ceſſe de ſa premiere direction. Auſſi j'eſpere qu'on voudra bien examiner avec attention les expériences que je vais répéter: * qu'on reconnoîtra enfin la réalité & la force de la réſiſtance de l'air, comme la néceſſité d'y avoir égard dans toutes les opérations de l'Artillerie.

Ces principes établis, je me propoſe de faire voir dans les mémoires ſuivants, les changements que la combinaiſon de toutes ces cauſes peut occaſionner dans le mouvement des bombes & des boulets.

J'y donnerai une méthode pour calculer le mouvement des boulets dans notre nouvelle hypotheſe, & quoique dans pluſieurs occaſions, cette théorie

* Ces expériences ſeront inſérées dans la premiere partie du troiſieme mémoire.

ne s'accorde pas toujours exactement avec le mouvement réel des projectiles, néanmoins elle eſt toujours beaucoup plus exacte, que celle qui eſt fondée ſur l'hypotheſe abſurde, où l'on veut que la courbe décrite par un projectile ſoit une parabole.

## N°. II.

## DE LA RÉSISTANCE DE L'AIR,

*Avec une méthode de calculer le mouvement des corps projetés dans ce milieu.*

COmme on n'a point encore fait d'objections, du moins qui ſoient venues à ma connoiſſance, contre les preuves & les expériences qui m'ont ſervi dans la derniere aſſemblée de cette Société, à établir cette prodigieuſe réſiſtance que l'air oppoſe aux bombes & aux boulets tirés avec leur vîteſſe ordinaire, j'ai lieu de me flatter que ce que j'ai avancé dans mon dernier mémoire, pourra paſſer pour démontré; & je crois pouvoir maintenant examiner les effets de cette réſiſtance, ſans

craindre qu'on m'accuſe de raiſonner ici ſur une puiſſance imaginaire.

On ſera ſans doute ſurpris, après les expériences que j'ai communiquées à cette Société, qu'on ait pu ſi long-temps reſter dans l'erreur touchant cette réſiſtance, d'autant mieux que les moyens de s'éclaircir là-deſſus, ſe préſentoient naturellement, & qu'il ſuffiſoit même pour ſe déſabuſer de faire attention aux loix de la réſiſtance reconnues depuis pluſieurs années. J'imagine que la cauſe de cette erreur preſque volontaire, étoit l'impoſſibilité de calculer le mouvement des projectiles, dans l'hypotheſe d'une réſiſtance ſenſible.

On ſait que Newton, dans ſes principes ne traite point du mouvement d'un corps projeté ſous un angle quelconque d'élévation, & de la réſiſtance que l'air lui oppoſe.

Mr. Jean Bernouilli a bien trouvé, il y a quelques années, qu'on pouvoit déterminer la ligne que décrivent des projectiles, par le moyen de la quadrature de certaines courbes; mais ceux qui connoiſſent ſa ſolution n'ignorent pas que ces courbes ne ſont pas réduc-

tibles aux termes ordinaires des quadratures, & qu'en conſéquence on ne ſauroit fonder aucun calcul là-deſſus. Du moins juſqu'à préſent cela a paru impoſſible. * C'eſt cette impoſſibilité qui étoit cauſe que les Mathématiciens, ne pouvant aſſigner les changements de direction qu'occaſionne dans le mouvement d'un corps la réſiſtance de l'air, auroient cru indigne d'eux de ſoutenir la réalité de ces changements.

Comme, depuis quelque temps, j'ai fait ſur les amplitudes des boulets pluſieurs expériences, & que j'ai raſſemblé toutes celles qu'avoient fait les autres, afin d'examiner les différentes hypotheſes ſur la réſiſtance que quelques-

* Les ſavants Commentateurs des principes de Newton, dans leur Commentaire, imprimé à Geneve en 1740, ne peuvent s'empêcher de l'avouer, & après avoir donné pour réſoudre ce problême, la ſolution de Bernouilli, qu'ils diſcutent très au long, ils ajoutent: *ex quibus manifeſtum ſit veræ trajectoriæ deſcriptionem adeò perplexam eſſe ut ex illa vix quidquam ad uſus Philoſophicos aut Mechanicos accommodatum poſſit deduci.* C'eſt-à-dire, il eſt clair que la deſcription de cette courbe eſt ſi compliquée, ſi difficile, qu'on n'en peut tirer aucun avantage ſoit pour la Philoſophie, ſoit pour la Méchanique. *Voyez* v. 2. p. 118.

unes de ces expériences me faiſoient former, il m'a fallu calculer le mouvement des corps, non-ſeulement dans le cas où la réſiſtance eſt en raiſon-doublée des vîteſſes, mais encore dans tous ceux où elle ſuit des loix dont n'a encore parlé aucun auteur. J'ai été aſſez heureux dans mes recherches pour trouver quelques méthodes d'approximation, qui ſont auſſi exactes que peut l'exiger la nature du ſujet, & qui ſont commodes dans leur application, plus que je n'euſſe oſé l'eſpérer dans une matiere auſſi compliquée & auſſi embarraſſante: quoique quelques-unes de ces méthodes ſoient devenues inutiles, parce que j'ai découvert que les loix qu'elles ſuppoſoient pour la réſiſtance étoient fauſſes, néanmoins comme pluſieurs d'entr'elles peuvent s'appliquer aux lignes réellement décrites par les projectiles, j'inférerai ici celles dont la formule générale, facile à expliquer & à retenir, ſuffit pour déterminer dans la pratique le mouvement des bombes & des boulets.

Mais il faut commencer par expliquer les loix réelles, que ſuit la réſiſtance que l'air oppoſe aux projectiles.

J'ai déja fait obſerver que lorſque les vîteſſes different de beaucoup, la réſiſtance n'eſt pas alors exactement en raiſon-doublée de ces mêmes vîteſſes; mais il n'eſt pas aiſé de déterminer quelle eſt cette variation, & quelles ſont les loix qu'elle ſuit. Néanmoins après avoir comparé entr'elles un grand nombre d'expériences, je ſuis d'avis que juſqu'à ce qu'on ait trouvé une théorie plus exacte touchant ces variations, on peut, ſans commettre une erreur ſenſible, ſe contenter des deux ſuppoſitions ſuivantes.

La premiere, c'eſt que tant que les vîteſſes ne paſſent pas 1100 pieds par ſeconde, on peut ſuppoſer la réſiſtance en raiſon-doublée des vîteſſes, & l'eſtimer ainſi que j'ai fait dans le mémoire précédent.

La ſeconde, c'eſt que ſi la vîteſſe paſſe celle de 1100 à 1200 pieds par ſeconde, la réſiſtance ſera près trois fois plus grande qu'elle ne devroit être ſuivant la premiere hypotheſe. * Par

* Comme en expoſant ici des conſéquences déduites des expériences, je ne voulois propoſer aucune hypotheſe, je n'ai point fait

exemple, ſi un boulet de 12# ſe meut avec une vîteſſe de 1700 pieds par ſeconde, il doit éprouver de la part de l'air une réſiſtance égale au poids, non de 144 $\frac{1}{2}$#, ainſi que je l'avois aſſigné dans le mémoire précédent; mais de trois fois cette quantité ou de 433 $\frac{1}{2}$#.

---

obſerver, ce qui eſt néanmoins très-remarquable, que la réſiſtance ne commence à s'éloigner de la loi générale que lorſque la vîteſſe du projectile eſt à peu près égale à celle du ſon. En effet, s'il étoit vrai que la réſiſtance de l'air ne devînt triple de ce qu'elle devroit être, que parce que le corps dans ſon mouvement laiſſe un vuide derriere lui, ce n'eſt pas s'éloigner de la vraiſemblance, que de ſuppoſer que la vîteſſe avec laquelle le ſon eſt propagé, ſoit le premier degré de vîteſſe qui puiſſe emporter le projectile avec aſſez de rapidité, pour qu'il laiſſe un vuide derriere lui, & ne ſoit plus appuyé par la preſſion de l'athmoſphere. Cette conjecture ſera peut-être encore confirmée ſi on obſerve, que ſi le boulet en ſe mouvant avec la vîteſſe du ſon, laiſſe réellement un vuide derriere lui, la preſſion de l'athmoſphere ſur ſa partie de devant, ſera une force trois fois auſſi grande que la réſiſtance calculée pour cette même vîteſſe, ſuivant les loix obſervées dans les mouvements lents; mais ſi l'on veut connoître exactement les limites qui ſéparent les plus grandes & les moindres réſiſtances, c'eſt aux expériences qu'il faut avoir recours.

Il ſuit delà, que ſi un projectile commence à ſe mouvoir avec une vîteſſe audeſſous de celle de 1100 pieds par ſeconde, la réſiſtance pourra être eſtimée, ſuivant l'hypotheſe où on la ſuppoſe, en raiſon-doublée des vîteſſes; mais ſi le projectile, au commencement de ſon mouvement, a une vîteſſe plus grande que celle dont nous venons de faire mention, & qu'à la fin il en conſerve encore une à peu près de 1100 pieds par ſeconde, en conſidérant ſéparément ces deux parties de ſon mouvement, on pourra, ſuivant une même hypotheſe, calculer la réſiſtance de l'air dans l'une & dans l'autre, excepté qu'il faudra multiplier par trois la réſiſtance qu'on aura trouvé pour la premiere partie du mouvement, en conſéquence de la vîteſſe du projectile; enſorte que ſi l'on a une méthode ſûre pour déterminer la ligne que décrit un corps, lorſque la réſiſtance eſt en raiſon-doublée des vîteſſes, il ſera toujours poſſible de trouver cette courbe quelque grande que ſoit la vîteſſe, & quelque accroiſſement qu'ait reçu la réſiſtance; & afin qu'on ne ſoit point obligé de conſidérer deux parties dans le mouvement d'un corps,

je donnerai une méthode abrégée pour trouver la courbe tout-à-la-fois, avec autant de facilité que ſi la réſiſtance eût toujours été uniforme.

Pour éviter des circonlocutions trop fréquentes, nous appellerons l'amplitude poſſible d'un projectile, la diſtance à laquelle dans le vuide il peut parvenir lorſqu'il eſt projeté ſous un angle d'élévation de 45°.

Nous appellerons ſimplement l'amplitude d'un projectile, la diſtance qui eſt entre le point de l'origine de ſon mouvement, & celui où il va tomber lorſqu'il eſt projeté dans le vuide ſous tout autre angle que 45°; enfin nous donnerons le nom d'amplitude actuelle du projectile à la diſtance où il parvient réellement.

Si on connoît la vîteſſe avec laquelle ſe meut un projectile, on pourra toujours par la théorie des projectiles déterminer & ſon amplitude poſſible, & ſon amplitude ſous un angle quelconque *, ou pour parler plus générale-

* Lorſqu'on connoit la viteſſe d'un projectile, on pourra déterminer ainſi ſon amplitude poſſible. Cherchez de quelle hauteur le

ment

ment, la vîteſſe du projectile, ſon amplitude poſſible, & ſon amplitude ſous un angle donné étant connues, on pourra facilement trouver les deux autres.

Pour faciliter les calculs du mouvement des corps, en conſidérant la réſiſtance que l'air leur oppoſe, déſignons par la lettre F la réſiſtance

---

corps doit tomber pour acquérir une vîteſſe égale à la vîteſſe donnée, le double de cette hauteur ſera l'amplitude poſſible. Par exemple, ſuppoſez que le projectile ait une vîteſſe de 1000 pieds par ſeconde, comme un corps qui tombe de 16 pieds un pouce, acquiert une vîteſſe de 32 pieds 2 pouces par ſeconde, & que les eſpaces parcourus par un corps tombant, ſont entr'eux comme les quarrés des vîteſſes acquiſes; il s'enſuit que la hauteur d'où doit tomber le corps pour acquérir une vîteſſe de 1000 pieds par ſeconde ſera $\frac{1000}{64 : \frac{1}{3}} = 15544$ dont le double 31088 pieds, ou 10363 verges, ſera l'amplitude poſſible qu'on cherchoit. De la même maniere, étant connue l'amplitude poſſible d'un projectile, on pourra déterminer la vîteſſe de ce projectile. On prendra la moitié de cette amplitude, & la multipliant par $64\frac{1}{3}$ & extrayant la racine du produit, on aura le nombre de pieds que le mobile peut parcourir en une ſeconde. Outre cette méthode nous en donnerons d'autres ſuffiſamment exactes, dans le quatrieme mémoire inſéré ci-après.

que l'air oppoſe à chaque projectile ; ſi on veut déterminer en particulier cette quantité F pour tout projectile donné, il faudra procéder ainſi : on cherchera d'abord par les principes établis dans le mémoire précédent, quelle devroit être la vîteſſe du projectile, pour que la réſiſtance que l'air lui oppoſe fût égale à la gravité de ce corps. La hauteur d'où ce corps dans le vuide devroit tomber pour acquérir une pareille vîteſſe, exprimera la quantité F. Il eſt encore une méthode plus facile de déterminer F, pour les bombes & les boulets. Si c'eſt un boulet de fer on en prendra le diametre exprimé en pouces, & le multipliant par 300, on aura le nombre de verges qui repréſente la grandeur F ; mais s'il eſt queſtion d'une bombe ou d'un boulet d'un autre métal que le fer, on déterminera la quantité F par cette proportion ; comme la gravité ſpécifique d'un boulet de fer de même diametre que la bombe ou le boulet donné, eſt à la gravité ſpécifique de cette bombe ou de ce boulet, ainſi la quantité F, correſpondante au boulet de fer, eſt à celle qui correſpond à la bombe ou au boulet donné. Après avoir ainſi aſſigné la

réſiſtance F, on pourra calculer par les trois Propoſitions ſuivantes, quelle eſt la courbe qu'un corps décrit, en ſuppoſant toujours la réſiſtance en raiſon-doublée des vîteſſes ; & on verra dans un corollaire annexé à la premiere Propoſition, comment on peut appliquer ces principes dans le cas où la vîteſſe étant très-grande, la réſiſtance augmente dans un plus grand rapport.

## PROPOSITION I.

Etant connue l'amplitude réelle d'un boulet ou d'une bombe projetée ſous un angle au-deſſous de 8° ou 10°, déterminer ſon amplitude, & par conſéquent ſon amplitude poſſible, & la vîteſſe que le corps avoit au commencement de ſon mouvement.

### *SOLUTION.*

Soit diviſée l'amplitude actuelle par la quantité F, correſpondante au projectile donné, & cherchez le quotien dans une des premieres colonnes de la Table ci-jointe ; alors ſi vous multipliez par F le nombre correſpondant dans la ſeconde colonne, ce produit exprimera l'amplitude poſſible, & par conſéquent l'on connoîtra la vîteſſe du projectile au commencement de ſon mouvement.

| Volée actuelle exprimée en F | Volée possible correspondante, exprimée en F | Volée actuelle exprimée en F | Volée possible correspondante, exprimée en F | Volée actuelle exprimée en F | Volée possible correspondante, exprimée en F |
|---|---|---|---|---|---|
| 0,01 | 0,0100 | 1, 5 | 2,6422 | 3,25 | 13,2556 |
| 0,02 | 0,0201 | 1,55 | 2,7890 | 3, 3 | 13,8258 |
| 0,04 | 0,0405 | 1, 6 | 2,9413 | 3,35 | 14,4195 |
| 0,06 | 0,0612 | 1,65 | 3,0994 | 3, 4 | 15,0377 |
| 0,08 | 0,0822 | 1, 7 | 3,2635 | 3,45 | 15,6814 |
| 0, 1 | 0,1034 | 1,75 | 3,4338 | 3, 5 | 16,3517 |
| 0,12 | 0,1249 | 1, 8 | 3,6107 | 3,55 | 17,0497 |
| 0,14 | 0,1468 | 1,85 | 3,7944 | 3, 6 | 17,7768 |
| 0,15 | 0,1578 | 1, 9 | 3,9851 | 3,65 | 18,5341 |
| 0,20 | 0,2140 | 1,95 | 4,1833 | 3, 7 | 19,3229 |
| 0,25 | 0,2722 | 2, 0 | 4,3890 | 3,75 | 20,1446 |
| 0, 3 | 0,3324 | 2,05 | 4,6028 | 3, 8 | 21,0000 |
| 0,35 | 0,3947 | 2, 1 | 4,8249 | 3,85 | 21,8925 |
| 0, 4 | 0,4591 | 2,15 | 5,0557 | 3, 9 | 22,8218 |
| 0,45 | 0,5258 | 2, 2 | 5,2955 | 3,95 | 23,7901 |
| 0, 5 | 0,5949 | 2,25 | 5,5446 | 4, 0 | 24,7991 |
| 0,55 | 0,6664 | 2, 3 | 5,8036 | 4,05 | 25,8506 |
| 0, 6 | 0,7404 | 2,35 | 6,0728 | 4, 1 | 26,9465 |
| 0,65 | 0,8170 | 2, 4 | 6,3526 | 4,15 | 28,0887 |
| 0, 7 | 0,8964 | 2,45 | 6,6435 | 4, 2 | 29,2792 |
| 0,75 | 0,9787 | 2, 5 | 6,9460 | 4,25 | 30,5202 |
| 0, 8 | 1,0638 | 2,55 | 7,2605 | 4, 3 | 31,8138 |
| 0,85 | 1,1521 | 2, 6 | 7,5875 | 4,35 | 33,1625 |
| 0, 9 | 1,2436 | 2,65 | 7,9276 | 4, 4 | 34,5686 |
| 0,95 | 1,3383 | 2, 7 | 8,2813 | 4,45 | 36,0346 |
| 1, 0 | 1,4366 | 2,75 | 8,6492 | 4, 5 | 37,5632 |
| 1,05 | 1,5384 | 2, 8 | 9,0319 | 4,55 | 39,1571 |
| 1, 1 | 1,6439 | 2,85 | 9,4300 | 4, 6 | 40,8193 |
| 1,15 | 1,7534 | 2, 9 | 9,8442 | 4,65 | 42,5527 |
| 1, 2 | 1,8669 | 2,95 | 10,2752 | 4, 7 | 44,3605 |
| 1,25 | 1,9845 | 3, 0 | 10,7237 | 4,75 | 46,2460 |
| 1, 3 | 2,1066 | 3,05 | 11,1904 | 4, 8 | 48,2127 |
| 1,35 | 2,2332 | 3, 1 | 11,6761 | 4,85 | 50,2641 |
| 1, 4 | 2,3646 | 3,15 | 12,1816 | 4, 9 | 52,4040 |
| 1,45 | 2,5008 | 3, 2 | 12,7078 | 4,95 | 54,6363 |
| ..... | ..... | ..... | ..... | 5, 0 | 56,9653 |

*EXEMPLE.*

Suppoſons qu'un boulet de 5 pouces de diametre ſoit chaſſé à la diſtance de 975 verges, par une charge de 2# de poudre, dans un canon portant un boulet de 18lb, & incliné ſous un angle 3°,3°.

La grandeur F, correſpondante à ce boulet eſt 1500 verges, d'où la volée actuelle ſera 65, & comme le nombre correſpondant dans la ſeconde colonne eſt 0,817, 0,817F, ou 1225 verges, ſera l'amplitude cherchée; & faiſant la proportion, comme le ſinus du double de l'angle d'élévation eſt au rayon, ainſi 1225 eſt à l'amplitude poſſible, qui ſe trouvera être de 10050 verges, ce qui fera connoître que la vîteſſe du mobile au commencement de ſon mouvement étoit de 984 pieds par ſeconde.

*COROLLAIRE Ier.*

Si on demande l'inverſe de cette Propoſition, c'eſt-à-dire, ſi l'amplitude ſous un petit angle étant donnée, on veut trouver l'amplitude actuelle, on pourra encore y parvenir par le

moyen de la même Table. Pour cet effet, il faudra diviſer par F l'amplitude donnée, & cherchant dans une des ſecondes colonnes le nombre qui eſt égal à ce quotien, on trouvera dans la premiere colonne correſpondante à celle-ci un nombre qui, multiplié par F, donnera l'amplitude actuelle demandée. Delà, il ſuit que l'amplitude actuelle ſous un angle étant donnée, on pourra trouver les amplitudes actuelles ſous tous les autres angles au-deſſus de 8° ou 10°.

## COROLLAIRE II.

Si étant donné une amplitude actuelle ſous un petit angle déterminé, & une autre ſous un angle inconnu, & qu'on cherche cet angle, il faudra chercher les amplitudes poſſibles correſpondantes aux deux amplitudes actuelles données, & comme l'angle correſpondant à l'une de ces amplitudes eſt connu, l'angle correſpondant à l'autre ſe déterminera aiſément par la théorie ordinaire des projectiles.

## COROLLAIRE III.

Si l'amplitude poſſible déduite de l'amplitude actuelle par cette Propoſition paſſe 13000 verges, pour lors la vîteſſe du projectile au commencement de ſon mouvement, a dû être aſſez conſidérable, pour que le mobile éprouve cette triple réſiſtance dont nous avons déja parlé ; & par conſéquent la véritable amplitude poſſible doit être plus grande que celle qu'on trouve par les Tables : en ce cas on pourra la déterminer à peu près de la maniere ſuivante.

* Cherchez une quatrieme proportionnelle géométrique continue à 13000 & cette amplitude, enſuite prenant ce quatrieme terme pour le troiſieme d'une nouvelle proportion qu'on établira, dont & les deux premiers termes ſeront toujours 13000 & l'amplitude ſur laquelle on opere, ce nouveau 4^e. terme déterminera aſſez exactement la véritable amplitude poſſible qu'on cherche ;

* Il n'eſt peut-être pas néceſſaire d'avertir que toutes ces différentes opérations ſeront plus exactes & plus faciles, ſi on ſe ſert des logarithmes.

de même lorſque la véritable amplitude eſt donnée, & qu'elle ſe trouve plus grande que 13000 verges, on prendra deux moyennes proportionnelles entre 13000 & cette amplitude ; le premier de ces moyens proportionnels ſera l'amplitude poſſible qu'on cherche, & qu'on prendra au lieu de la premiere, cette méthode compenſera à peu près la réſiſtance que l'air oppoſe aux grandes vîteſſes, la différence qui réſultera dans l'angle de direction du corps projeté ſera peu de choſe, & même ſi cet angle excede deux ou trois degrés, l'erreur qu'on commettra pourra être regardée comme nulle.

Soit par exemple, ſuppoſé qu'un boulet de 24lb chaſſé par 12lb de poudre ait été porté ſous un angle de 7°,15′ à la diſtance de 2500 verges, F étant dans ce cas à peu près de 1700 verges, le nombre qu'on doit chercher dans la premiere colonne eſt 147, auquel correſpond dans la ſeconde colonne le nombre 2,556, & par conſéquent l'amplitude ſera à peu près de 4350 verges, & l'amplitude poſſible de 17400; mais, comme ce nombre paſſe 13000,

pour trouver la véritable amplitude poſſible, je chercherai un troiſieme terme proportionnel à 13000 & à 17400, j'en ferai le troiſieme terme d'une proportion dont 13000 & 17400, ſeront les deux premiers termes, le quatrieme terme qui eſt d'environ 31000 verges, ſera la véritable amplitude poſſible cherchée, d'où la vîteſſe du mobile ſera à peu près de 1730 pieds par 1″.

## SCHOLIE.

Cette Propoſition, comme on voit, ſe borne aux angles au-deſſous de 8° ou 10°, nous en donnerons les raiſons dans la ſuite; mais ce ſera dans un petit Traité à part que je réſoudrai & diſcuterai ce problême & les ſuivants, qui ſont purement géométriques, & je ferai voir que dans tous les cas de la pratique notre théorie nous donne des réſultats qui ne different pas même de ceux qu'on trouve par l'expérience, autant que different entr'elles à cauſe des variations de l'athmoſphere, deux expériences faites quelques heures l'une après l'autre. Enſorte que les erreurs qu'elle peut faire

commettre ſont moindres, que quantité d'autres qui, dans la pratique ſont inévitables.

## PROPOSITION II.

Etant donnée l'amplitude actuelle d'un boulet ou d'une bombe ſous un angle qui ne paſſe pas 45°; déterminer ſon amplitude ſous le même angle, ſon amplitude poſſible, & ſa vîteſſe au commencement de ſon mouvement.

### SOLUTION.

Multipliez le F correſpondant au projectile par le coſinus des trois quarts de l'angle d'élévation, & diviſez le produit par le rayon. Opérez enſuite ſur cet F ainſi réduit, comme dans la Propoſition précédente, & vous trouverez l'amplitude cherchée, l'amplitude poſſible, & la vîteſſe du projectile au commencement de ſon mouvement.

### EXEMPLE.

Une bombe de 12 pouces & $\frac{1}{4}$ de diametre, & du poids de 231 ℔, a été portée ſouvent à la diſtance de 3450 verges,

par un mortier pour le ſervice de mer incliné à un angle de 45°, & dont la charge étoit de 30lb de poudre, le F de cette bombe, ſi elle n'étoit pas creuſe, ſeroit de 3825 verges; mais comme elle n'eſt que les $\frac{4}{5}$ d'un globe ſolide, le véritable F, ne ſera pas plus de 3060 verges; lequel nombre multiplié par le coſinus des trois quarts de l'angle d'élévation, & diviſé par le rayon, donnera 2544; cherchant dans la premiere colonne de la Table, le quotien 1,384 de l'amplitude diviſée par cet F ainſi réduit, on trouvera dans la ſeconde colonne 2,28 qui, multiplié par le F réduit, donnera 5800 verges pour l'amplitude qu'on cherche, & qui ſera auſſi l'amplitude poſſible, puiſque l'angle eſt de 45°. Delà on connoîtra que la vélocité du boulet à l'origine de ſon mouvement eſt d'environ 748 pieds par 1″.

### COROLLAIRE.

L'inverſe de cette Propoſition ſera également poſſible, c'eſt-à-dire, étant donnée l'amplitude du projectile, on connoîtra ſon amplitude actuelle. Pour cela il faudra diviſer l'amplitude par

le F réduit, & cherchant ce quotien dans la ſeconde colonne de la Table, on trouvera dans la premiere colonne correſpondante, un nombre qui multiplié par le F réduit, ſera l'amplitude actuelle.

De même, ſi l'amplitude poſſible d'un projectile eſt donnée, ou que ſon amplitude actuelle ſous un angle donné ſoit connue, on pourra trouver l'amplitude actuelle de ce projectile ſous tout autre angle donné. Car l'amplitude poſſible étant connue, ſera connoître l'amplitude ſous tout angle donné, & alors on trouvera l'amplitude actuelle par la méthode que nous venons de donner.

### *Exemple I.*

Une balle de mouſquet chaſſée dans un canon ordinaire, par une quantité de bonne poudre peſant le cinquieme du poids de la balle même, acquiert une vélocité d'à-peu près 900 pieds par 1″, c'eſt-à-dire, qu'elle a une amplitude poſſible d'environ 8400 verges: or ſuppoſons qu'on veuille trouver l'amplitude actuelle de cette balle ſous un angle de 15°, il faudra procéder ainſi.

L'amplitude poſſible étant de 8400 verges, l'amplitude ſous un angle de 15° ſera de 4200 verges ; mais le diametre de la balle eſt de $\frac{3}{4}$ de pouce, & comme elle eſt de plomb, le F qui lui correſpond eſt 337,5 verges ; lequel nombre ſera multiplié par le coſinus des $\frac{3}{4}$ d'un angle de 15°, & diviſé par le rayon ; enſuite diviſant 4200 par ce quotien, & cherchant dans les ſecondes colonnes des Tables, le nombre 12,7 provenant de cette diviſion, on trouvera dans la premiere colonne le nombre correſpondant qui ſera à peu près 3,2, lequel multiplié par 331 verges qui eſt le F réduit, donnera 1059 verges pour l'amplitude actuelle qu'on cherche.

*EXEMPLE II.*

La même balle tirée avec une quantité de poudre dont le poids eſt égal au ſien, acquiert une vîteſſe d'environ 2100 pieds par 1″. On propoſe de trouver ſon amplitude actuelle à 15° ; je vois d'abord que ſon amplitude poſſible eſt d'environ 45700 verges ; mais ce nombre ſurpaſſe 13000 verges, il faudra donc le réduire par la méthode du troiſieme corollaire

de la 1e. Propoſition, ce qui donnera 19700 verges; cherchant enſuite ſon amplitude à 15°, je trouverai 9850 verges, lequel nombre diviſé par le F, réduit comme dans l'exemple précédent, donne pour quotien 2975: donc ſuivant les regles établies ci-deſſus, l'amplitude actuelle ſera de 1396 verges, qui ne ſurpaſſe pas la premiere de 337 verges; au lieu que la différence entre les deux amplitudes, eſt de plus de dix mille. Tel eſt l'effet de cette prodigieuſe réſiſtance de l'air, qu'on a néanmoins cru juſqu'ici devoir être négligée dans la théorie des projectiles.

## SCHOLIE.

Je renvoie encore la démonſtration des méthodes que nous venons d'expliquer au Traité géométrique que je me propoſe de donner, où je diſcuterai aſſez au long & les principes, & les limites de ces approximations; mais je dois obſerver que, comme la denſité de l'athmoſphere varie continuellement, & ſouvent en peu d'heures ſe trouve diminuée ou augmentée de $\frac{1}{30}$, & quelquesfois plus, je n'ai point cherché à donner

à mes regles une exactitude ſcrupuleuſe, je me ſuis contenté de faire enſorte que les erreurs qu'elles peuvent occaſionner, ne ſurpaſſaſſent jamais celles qui peuvent provenir des variations de l'athmoſphere ; on pourra donc appliquer nos regles dans tous les cas poſſibles, ſans craindre de ſe tromper de beaucoup, & on pourra par ce moyen déterminer les amplitudes quelconques de toute bombe, & tout boulet projeté ſous un angle quelconque juſqu'à 45°, & de toute balle de mouſquet, pourvu que l'angle d'élévation ne paſſe pas 30°, & que la charge ſoit une quantité de poudre ordinaire. Car ſi elle étoit de beaucoup plus conſidérable que celles dont on a coutume de ſe ſervir, & qui produiroient des amplitudes poſſibles plus grandes que les amplitudes ordinaires, il faudroit lorſque les angles d'élévations ſeroient un peu grands, donner à nos regles certaines modifications particulieres ; & quoiqu'il ſemble inutile d'examiner un cas qui n'a preſque jamais lieu, néanmoins pour ne laiſſer rien à deſirer au lecteur, je donnerai dans la Propoſition ſuivante une méthode pour

déterminer l'amplitude actuelle d'un boulet ſous un angle de 45°, quelle que ſoit ſa vîteſſe au commencement de ſon mouvement ; mais comme ce cas regarde plus la ſpéculation que la pratique, au lieu de ſuppoſer l'amplitude actuelle connue, & de chercher l'amplitude poſſible, nous ſuppoſerons ſeulement que l'amplitude poſſible ſoit donnée, & qu'on cherche l'amplitude actuelle.

## PROPOSITION III.

Etant donnée l'amplitude poſſible d'une bombe ou d'un boulet, déterminer l'amplitude actuelle ſous un angle de 45°.

### SOLUTION.

Diviſez l'amplitude poſſible par le F correſpondant à la bombe ou au boulet donné, & faiſant le quotien égal à Q, vous appellerez L la différence entre les logarithmes de Q & de 25, le logarithme de 10 étant l'unité, l'amplitude actuelle ſera 3, $4F \mp 2LF - \frac{LLF}{10}$ dans laquelle expreſſion

Si Q eſt moindre que 25, 2 LF ſera affecté

affecté du ſigne — s'il eſt plus grand, ce terme aura le ſigne +, & dans cette ſolution Q ne peut jamais être ni moindre que 3 ni plus grand que 2500.

### COROLLAIRE.

Par la méthode précédente, on trouvera le rapport qui eſt entre l'amplitude poſſible & l'amplitude actuelle à 45°, & on pourra l'exprimer, comme dans la Table ſuivante.

| Amplitude poſſible. | Amplitude actuelle à 45°. |
|---|---|
| 3 F | 1,5 F |
| 6 F | 2,1 F |
| 10 F | 2,6 F |
| 20 F | 3,2 F |
| 30 F | 3,6 F |
| 40 F | 3,8 F |
| 50 F | 4,0 F |
| 100 F | 4,6 F |
| 200 F | 5,1 F |
| 500 F | 5,8 F |
| 1000 F | 6,4 F |
| 2500 F | 7,0 F |

Il ſuit delà, que ſi l'amplitude poſſible augmente depuis 3 F juſqu'à 2500 F, l'amplitude actuelle augmentera

ſeulement depuis 1 $\frac{1}{2}$ F juſqu'à 7 F. Enſorte que ſi l'amplitude poſſible eſt augmentée de 2497 F, l'amplitude correſpondante ne ſera augmentée que de 5 $\frac{1}{2}$ F, qui n'eſt pas $\frac{1}{400}$ de la premiere augmentation, & qui ſera encore beaucoup plus petite lorſque la vîteſſe ſera très-grande, à cauſe de l'accroiſſement de cette réſiſtance qui eſt ſi prodigieuſe & ſi conſidérable, quoique juſqu'à préſent on ait cru qu'on ne devoit point y avoir égard.

Afin de confirmer les méthodes établies dans la 2e. & 3e. Propoſition, je finirai par donner une Table des amplitudes actuelles d'un projectile ſous un angle de 45°, en ſuppoſant la réſiſtance en raiſon-doublée des vîteſſes. J'ai compoſé cette Table par une méthode différente de celle que j'ai donné ci-deſſus, & ſuffiſamment exacte pour ſervir de terme de comparaiſon aux réſultats de nos autres regles. Si elles conduiſent à quelque erreur, c'eſt à un angle d'élévation de 45°, que cette erreur ſera la plus ſenſible; & par conſéquent cette Table nous fera connoître les plus grandes erreurs poſſibles où peuvent mener les méthodes précédentes.

| *Amplitude possible.* | *Amplitude actuelle à 45°.* |
|---|---|
| 0, 1 F . . . . . | ,0963 F |
| 0,25 F . . . . . | ,2282 F |
| 0, 5 F . . . . . | ,4203 F |
| 0,75 F . . . . . | ,5868 F |
| 1, 0 F . . . . . | ,7323 F |
| 1,25 F . . . . . | ,8600 F |
| 1, 5 F . . . . . | ,9780 F |
| 1,75 F . . . . . | 1,083 F |
| 2, 0 F . . . . . | 1,179 F |
| 2, 5 F . . . . . | 1,349 F |
| 3, 0 F . . . . . | 1,495 F |
| 3, 5 F . . . . . | 1,624 F |
| 4, 0 F . . . . . | 1,738 F |
| 4, 5 F . . . . . | 1,840 F |
| 5, 0 F . . . . . | 1,930 F |
| 5, 5 F . . . . . | 2,015 F |
| 6, 0 F . . . . . | 2,097 F |
| 6, 5 F . . . . . | 2,169 F |
| 7, 0 F . . . . . | 2,237 F |
| 7, 5 F . . . . . | 2,300 F |
| 8, 0 F . . . . . | 2,359 F |
| 8, 5 F . . . . . | 2,414 F |
| 9, 0 F . . . . . | 2,467 F |
| 9, 5 F . . . . . | 2,511 F |
| 10, 0 F . . . . . | 2,564 F |
| 11, 0 F . . . . . | 2,651 F |
| 13, 0 F . . . . . | 2,804 F |
| 15, 0 F . . . . . | 2,937 F |
| 20, 0 F . . . . . | 3,196 F |
| 25, 0 F . . . . . | 3,396 F |
| 30, 0 F . . . . . | 3,557 F |
| 40, 0 F . . . . . | 3,809 F |
| 50, 0 F . . . . . | 3,998 F |

On s'attendroit peut-être qu'après avoir exposé ici tout ce qui est nécessaire pour calculer les amplitudes actuelles des bombes & des boulets, je donnerois quelques exemples de ces regles, en les appliquant à des boulets lancés avec différentes pieces d'Artillerie, & sous différents angles; mais comme la méthode que nous venons d'établir suppose tant l'examen de la résistance de l'air que celui de l'action de la poudre enflammée, & que son objet est d'assigner la vîtesse & l'amplitude possible d'un boulet donné, chassé par une charge de poudre donnée, & comme de plus, les expériences que je produirai dans la suite serviront à confirmer ces deux théories, je dois différer de les proposer jusqu'à ce que j'aie examiné quelle est l'action de la poudre, d'autant mieux que cette partie est trop étendue pour être renfermée dans ce Traité.

Au reste, avant de pénétrer plus avant, il est nécessaire de connoître certaines déclinaisons qui détournent de beaucoup le corps de la route qu'on lui assigne par les principes ci-dessus. C'est un point de la plus grande importance,

quoique juſqu'ici on n'y ait fait aucune attention. Je tâcherai de le diſcuter avec autant de préciſion qu'il me ſera poſſible.

Outre la gravité & la réſiſtance de l'air qui agiſſent ſur un projectile, il eſt encore une force qui le preſſe obliquement, & ſuivant une direction qui peut toujours varier. Cette puiſſance par ſon action doit le faire ſortir du plan vertical, dans lequel il avoit commencé à ſe mouvoir ; & le pouſſant tantôt du côté droit, tantôt du côté gauche, il doit cauſer de grandes inégalités entre pluſieurs amplitudes d'un même boulet, quoique la piece, la charge & l'inclinaiſon ſoient toujours les mêmes. J'imagine que c'eſt l'action de cette force qui eſt la ſource principale de cette incertitude, & de ces irrégularités qui accompagnent toujours les opérations de la pratique, & qu'on attribue communément aux différentes forces de la poudre ; mais pour ne laiſſer aucun doute, il faut prouver la réalité de cette force, & montrer quelles ſont ſes cauſes.

On m'accordera ſans peine qu'une bombe ou un boulet ne ſauroit ſortir

de la piece d'où il eſt tiré ſans éprouver un frottement contre ſes parois intérieurs, & acquérir par-là un mouvement de rotation, auſſi-bien qu'un mouvement progreſſif. Ce mouvement de rotation d'un côté ſe fait à peu près dans la même direction que le mouvement progreſſif, & de l'autre dans une direction oppoſée. La réſiſtance que l'air oppoſe au devant du boulet, doit par conſéquent augmenter ſa preſſion ſur une partie de ſa ſurface, & la diminuer ſur l'autre. Par ce moyen ſon action deviendra oblique, & produira les effets dont nous avons fait mention.

Si l'on pouvoit déterminer la poſition de l'axe autour duquel ſe fait le mouvement, & ſi cet axe demeuroit fixe & invariable dans tout le mouvement du boulet, on connoîtroit la direction de l'écartement, ou l'aberration du boulet ſeroit connue, & la ligne courbe que cette force oblique feroit décrire s'étendroit réguliérement du même côté. Depuis la bouche du canon juſqu'au point où tomberoit le projectile; par exemple, ſi l'axe de rotation étoit perpendiculaire à l'horizon, la courbe

ſe feroit ou à droite ou à gauche, & ſi cet axe étoit horizontal & perpendiculaire à la direction du boulet, la courbe ſe feroit ou en montant ou en deſcendant; mais comme on ne connoît point la premiere poſition de cet axe, & que dans le cours du mouvement, elle peut continuellement changer, la courbe ne ſe fait point conſtamment dans la même direction; mais le boulet peut s'écarter dans ſon mouvement, tantôt d'un côté, tantôt d'un autre; la tendance de la déclinaiſon doit changer auſſi ſouvent que change, par différents accidents inévitables, la poſition de l'axe de rotation par rapport au mouvement progreſſif.

Il ſeroit facile de démontrer ſimplement que le boulet doit acquérir ce mouvement de rotation, & que c'eſt à ce même mouvement que nous devons attribuer toutes les irrégularités qui ſe rencontrent dans la pratique; mais pour lever entiérement tous les doutes, & prévenir toutes les objections, j'ai jugé plus à propos de propoſer à cette Société une expérience que j'ai faite à ce

ſujet ; * & qui fera voir clairement qu'une balle change ſa direction en compoſant ſon mouvement, du mouvement progreſſif & du mouvement de rotation ; & comme ces deux mouvements dans les projectiles militaires ſont beaucoup plus conſidérables, il ſera facile d'en conclure que leurs effets doivent être encore plus ſenſibles. Je propoſe même à tous ceux qui voudront me faire l'honneur de m'accompagner dans mes opérations, de leur faire remarquer une déclinaiſon ſenſible dans le mouvement d'une balle de mouſquet, à la diſtance ſeulement de 60 ou 70, ou 100 verges ; & ſi cette diſtance étoit plus conſidérable, l'écartement de la balle le ſeroit auſſi, juſques-là qu'une balle portée à 700 verges s'étoit écartée de 100 verges de ſa premiere direction ; mais comme on ne ſauroit trouver dans le voiſinage de Londres un terrein aſſez étendu pour faire l'expérience de cette derniere façon, je me flatte qu'on

* Cette expérience, ainſi que les autres dont on parle dans cet article & le ſuivant, ſeront détaillées dans le Traité ſuivant.

ſe contentera de voir dans un plus court eſpace la réalité de ces déclinaiſons, & qu'on ne refuſera pas de m'en croire ſur les autres expériences où les écartements de la balle étoient beaucoup plus grands. Je donnerai dans la ſuite des moyens pour éviter ces variations ; mais je les réſerve pour quelques autres traités que je compoſerai ſur l'Artillerie.

J'ajouterai ſeulement qu'il ne faut pas s'imaginer que les effets de cette force oblique, puiſſent être déterminés exactement par la théorie ordinaire de l'action des fluides ſur une ſurface oblique à leur direction ; & pour empêcher qu'on ne perde ſon temps à des recherches ſi infructueuſes, j'obſerverai que toutes les théories établies juſqu'à préſent, ſur la réſiſtance des ſurfaces obliques ſont pleines des erreurs les plus palpables ; & comme il ſeroit un peu trop long de le démontrer, je me contenterai d'expoſer ici une expérience, qui ſuffira pour faire connoître, ſi l'on y fait bien attention, la fauſſeté de ce qu'ils ont avancé à ce ſujet. Je démontrerai dans cette expérience que deux ſurfaces également inclinées éprouvent néanmoins de la part

de l'air des réſiſtances bien différentes, juſques-là que pour l'une la réſiſtance eſt moindre que celle que rencontreroit une ſurface perpendiculaire, & que pour l'autre elle eſt plus grande. Je me bornerai là pour le préſent ; mais dans la ſuite je traiterai plus au long un ſujet auſſi important, & qu'il eſt néceſſaire de connoître à fond, ſi l'on veut établir une théorie ſûre & vraie pour la conſtruction des vaiſſeaux, & pour la navigation.

## N°. III.

COMPTE RENDU *des expériences faites ſur la réſiſtance de l'Air, lu en différents tems devant la Société royale en 1746.*

VErs la fin de l'été dernier je remis à la Société royale, deux Mémoires ſur la réſiſtance de l'air. Dans le premier j'ai tâché de faire voir quelle action prodigieuſe cette réſiſtance exerce ſur les projectiles dans leur mouvement, & combien par conſéquent il eſt néceſ-

ſaire d'y avoir égard dans toutes les ſpéculations concernant l'Artillerie. Dans le ſecond je donne une explication plus exacte, & plus détaillée des loix que cette réſiſtance obſerve, avec des regles pour calculer les amplitudes actuelles des projectiles ainſi retardés, & arrêtés par cette réſiſtance ; & pour rendre ce Traité complet, j'ai fait auſſi mention d'une irrégularité extraordinaire, & qu'on n'avoit jamais remarqué dans le mouvement des projectiles ; je tâche enſuite d'aſſigner les cauſes auxquelles on peut attribuer ces dérivations ; & delà enfin, je prends occaſion de propoſer quelques aſſertions, qui tiennent du paradoxe, touchant les différentes réſiſtances que peut éprouver une même ſurface oblique par le changement de quelque circonſtance, qu'on avoit cru juſqu'à préſent être totalement étrangeres à ce ſujet.

La plupart des Propoſitions avancées dans ce Mémoire, ſont diamétralement oppoſées aux opinions communément reçues. Leurs preuves ſont appuyées ſur des expériences que j'ai répétées pluſieurs fois, & que j'ai dans cette occa-

ſion expoſée devant la Société. Comme elles ont été ſouvent exécutées en préſence de pluſieurs de ſes Membres, & ont toujours aſſez bien réuſſies, je me crois obligé d'expliquer ici les méthodes & les machines dont je me ſuis ſervi, auſſi-bien que la nature & le ſuccès des expériences que j'ai faites. Un tel expoſé appuyé par les témoignages des perſonnes qui ont été préſentes à mes expériences, aura, pour prouver les principes que j'ai avancés, bien plus de poids qu'une ſimple narration, où il faudroit toujours ne ſe fier qu'à moi ſeul. En effet, on pourroit me ſoupçonner d'être prévenu en faveur de mes nouvelles théories dont je ſuis en quelque façon l'inventeur.

Je ferai d'abord obſerver que dans le premier Mémoire que j'ai remis à la Société, j'ai avancé les deux Propoſitions ſuivantes. Savoir, 1°. que la réſiſtance que l'air oppoſe à un boulet de fer de 12lb qui ſe meut avec une vîteſſe de 25 pieds par ſeconde, eſt égale à une demi-once *avoir du poids* (la livre étant de 16 onces) 2°. que, dans quelques circonſtances la réſiſtance de l'air

eſt à peu près en raiſon-doublée des vîteſſes.

Ces deux Propoſitions ne ſont par elles-mêmes, ni nouvelles ni douteuſes; mais elles ſervent de baſe à pluſieurs autres aſſertions qu'on a juſqu'à préſent conteſté & refuſé d'admettre; pour en prouver la vérité, j'ai cherché une méthode plus inconteſtable & plus ſimple. Pour cet effet, j'ai fait conſtruire une machine * qui fut parfaitement bien exécutée ſous les yeux mêmes de Mr. *Ellicot*, & par le moyen de quelques autres pieces & inventions qui ne ſont point repréſentées dans la planche, & dont il n'eſt pas même néceſſaire de parler, notre machine eut tout le ſuccès qu'on ait pu eſpérer. J'en vais donner ſeulement une deſcription en gros, parce que cela ſuffit pour l'intelligence de nos expériences. BCDE eſt un cylindre de cuivre mobile autour de ſon axe, & diſpoſé avec tant de ſoins, que dans ſa révolution il n'éprouve que le plus petit frottement. La conſtruction ne peut être parfaitement repréſentée ſur la planche. Ce cylindre eſt enchaſſé dans un autre, placé de maniere que ſon axe Fig. 6.

ſoit perpendiculaire à l'horizon. Sur cet axe prolongé au-deſſus eſt fixé un cône creux & léger AFG, de la partie inférieure du cône s'étend un long bras de bois GH très-mince, & taillé en lame d'aviron, à l'extrêmité duquel eſt une invention propre à fixer & retenir ſur le bras GH le corps auquel on veut éprouver combien l'air oppoſe de réſiſtance; dans ce cas c'eſt le globe P, & pour empêcher que ſa peſanteur ne faſſe perdre à GH ſa poſition horizontale, l'extrêmité de ce bras eſt ſoutenue par un fil d'archal attaché au ſommet du cône.

Autour du cylindre BCDE eſt entortillé un fil de ſoie, comme on peut voir dans la fig. & après avoir fait un aſſez grand nombre de tours, il va horizontalement paſſer par une poulie L, & à ſon extrêmité eſt ſuſpendu un poids convenable M. Il eſt clair que ſi on laiſſe ce poids en liberté, il ſera entraîné par ſa peſanteur, & fera tourner le cylindre avec le bras GH & le corps P qui y eſt attaché. Or tant que la réſiſtance que rencontre le bras GH, & le corps P ſera moindre que le poids M, ce poids

deſcendra avec une vîteſſe accélérée, & par conſéquent la vîteſſe du corps, & en même temps la réſiſtance qu'il éprouve, ſeront augmentées, juſqu'à ce qu'enfin la réſiſtance étant égale au poids M, le mouvement du corps P deviendra à peu près uniforme ; & on pourra par le moyen de cette machine connoître la réſiſtance qu'éprouve le corps P. Voici, je crois, la méthode la plus naturelle pour y réuſſir. Lorſque la machine aura acquis un mouvement uniforme, ce qui, comme on le verra dans la ſuite, arrive toujours après les cinq ou ſix premiers tours, obſervez en combien de temps le corps P fait une révolution, & enſuite ôtant le corps P & le poids M, cherchez quel autre poids pourroit faire tourner le bras GH dans le même eſpace de temps. Si vous retranchez de M ce dernier poids, le reſte ſera évidemment égal à l'effort du corps P, & ce reſte étant multiplié par la longueur du bras & diviſé par le demi-diamètre du cylindre, exprimera la réſiſtance cherchée, & comme le temps de la révolution étant connu, la vîteſſe du corps eſt auſſi connue, on aura déterminé la ré-

ſiſtance qu'éprouve de la part de l'air un corps mu avec une vîteſſe donnée.

Il faut obſerver que pour obvier à toutes les difficultés qu'on pourroit me faire, j'ai eu ſoin de mettre à la place du corps P, lorſque je l'ai ôté, un morceau de plomb applati & de même poids, placé horizontalement ; enſorte que le poids qui faiſoit mouvoir le bras GH, faiſoit auſſi faire la même révolution au morceau de plomb. C'étoit pour empêcher qu'on ne m'objectât que le corps P retardoit le mouvement du cylindre par ſon propre poids, auſſi-bien que par la réſiſtance qu'il éprouvoit ; mais les Mathématiciens conviendront aiſément que cette précaution étoit peu néceſſaire.

Voici quelles étoient les dimenſions de cette machine.

Le diametre du cylindre BCDE & du cordon de ſoie entortillé autour étoit de . . . . . Pouces 1,06

La longueur du bras GH depuis l'axe juſqu'au corps P étoit de 49,5

Le corps P étoit un globe de carton couvert d'un papier marbré, & de la groſſeur d'une balle de 12 lb, ſon diametre étoit de . . . 4,5

De

De ſorte que le rayon du cercle décrit par le centre du globe étoit de . . . 51,75

Ce globe ayant été fixé à l'extrêmité du bras GH, & un poids d'une demi-livre étant ſuſpendu à l'extrêmité du cordon de ſoie, on examina en quel eſpace de temps le mouvement du poids & celui du corps P devenoient ſenſiblement égaux ; dans cette vue on laiſſa faire trois révolutions, & on trouva ſe faiſoient 10 révolutions ſuivantes enſuite que les en . . 27″ ¾

Les 20 en moins de . 55

Les 30 en . . . 82 ¼

Enſorte que les 10 premieres révolutions ſe firent en . . 27 ¾

Les 10 ſuivantes en . . . 27 ¼ + ¼ + ¼

Et les 10 autres enfin en . . 27 ½

ce qui prouve qu'après les trois premieres révolutions, le mouvement devenoit à peu près uniforme, en ſuppoſant qu'on ſe ſervît d'un poids de demi-livre, qui eſt le plus petit que nous ayions jamais employé.

Pour prouver enſuite les deux Propoſitions dont nous avons fait mention ci-deſſus, on fit les expériences ſuivan-

tes. Les eſpaces de temps dont nous venons de parler, ayant été marqués par des montres à arrêts qui différoient rarement entr'elles ſeulement d'une demi-ſeconde.

On fixa le globe à l'extrêmité de GH, & on ſuſpendit au cordon un poids de $3^{lb}\frac{1}{4}$, & ayant laiſſé faire les 10 premieres révolutions, on obſerva que les 20 ſuivantes ſe faiſoient en $21''\frac{1}{2}$.

Enſuite ayant ôté le globe & lui ſubſtituant une plaque de plomb de même poids, on trouva qu'un poids d'une livre faiſoit tourner toute la machine en moins de temps que n'avoit fait les $3^{lb}\frac{1}{4}$ dans la premiere expérience, puiſque la révolution ſe faiſoit en $19''$.

Il ſuit delà qu'il faut ſouſtraire un peu moins d'une livre du premier poids de $3^{lb}$ & $\frac{1}{4}$, & que l'effort de la réſiſtance qu'éprouve le globe P, ſera plus grand que celui de $2^{lb}\frac{1}{4}$ placé au bout du cordon M ; comme, ainſi que nous avons obſervé ci-deſſus, le rayon du cylindre eſt à peu près $\frac{1}{50}$ de celui du cercle que décrit le centre du globle, il s'enſuit que la réſiſtance qu'éprouve le globe lorſqu'il fait 20 révo-

lutions en $21''\frac{1}{2}$ (ce qui calculé revient à une vîteſſe de 25 pieds par ſeconde) eſt à peu près la 50e. partie de $2^{lb}\frac{1}{4}$, ou la 50e. partie de 36 onces, ce qui fait plus d'une demi-once; le globe étant à peu près de la groſſeur d'un boulet de $12^{lb}$, cette expérience confirme notre Propoſition où il étoit dit qu'un boulet de $12^{lb}$, & qui ſe mouvoit avec une vîteſſe de 25 pieds par ſeconde éprouvoit une réſiſtance égale à peu près à une demi-once *avoir du poids*.

On fit enſuite de nouvelles expériences pour confirmer la 2e. Propoſition, & pour cet effet on ſuſpendit ſucceſſivement au cordon, des poids qui étoient dans le rapport des nombres, 1, 4, 9, 16; & laiſſant paſſer les 10 premieres révolutions, on fit ſur les autres les obſervations ſuivantes:

| | |
|---|---|
| Avec $2^{lb}$ le globe fit 20 révolutions en . . | $54''\frac{1}{2}$ |
| C'eſt-à-dire qu'il en fit 10 en | $27\frac{1}{4}$ |
| Avec $2^{lb}$ il en fit 20 en . . | $27\frac{1}{2}$ |
| Avec $4^{lb}\frac{1}{2}$ il en fit 30 en . . . | $27\frac{1}{2}$ |
| Avec $8^{lb}$ il en fit 40 en . . | $27\frac{1}{2}$ |

De ſorte qu'à des réſiſtances ſuivant la Proportion des nombres 1,4,9,16 ré-

pondent des vîteſſes qui ſont dans le rapport des nombres 1, 2, 3 & 4; ce qui prouve la vérité de la ſeconde Propoſition contenue dans notre premier Mémoire; ſavoir, que la réſiſtance de l'air eſt à peu près en raiſon-doublée des vîteſſes, c'eſt-à-dire qu'elle eſt 4 fois & 9 fois plus grande, lorſque le corps ſe meut avec deux ou trois degrés de vîteſſes, que lorſqu'il ne ſe meut qu'avec un ſeul, & ainſi de ſuite.

Telles ſont les expériences dont je me ſuis ſervi pour prouver les Propoſitions contenues dans mon premier Mémoire. Comme elles ont été exécutées à différentes fois devant pluſieurs Membres de la Société, & qu'on ne leur a fait aucune objection, du moins qui ſoit parvenue à ma connoiſſance, je les ai regardé dans mon ſecond Mémoire, comme une preuve inconteſtable de ce que j'avois avancé précédemment.

Quoique le principal objet du 2e. Mémoire ſoit d'établir des régles pour déterminer le mouvement des projectiles militaires, on y trouve néanmoins vers la fin des obſervations touchant quelques effets extraordinaires de cette

réſiſtance, auxquels on n'avoit point encore fait attention. En effet, la réſiſtance de l'air non-ſeulement ralentit le mouvement des projectiles ; mais encore elle les détourne de leur direction, & leur en fait prendre d'autres en différents ſens. Cette remarque ſûrement eſt de la plus grande importance, & néanmoins juſqu'à préſent cet effort de la réſiſtance avoit été inconnu, ou l'on n'avoit pas daigné y faire attention. Il eſt donc néceſſaire, pour confirmer une pareille aſſertion, de rapporter les expériences que j'ai faites à ce ſujet, d'autant mieux qu'elles ſont aſſez curieuſes.

La baſe de cette Propoſition que j'ai expliquée au long dans mon ſecond Mémoire, & qu'il eſt néceſſaire de répéter en peu de mots, c'eſt que preſque tout boulet en frottant contre les parois de la piece acquiert un mouvement de rotation, & que ce mouvement de rotation lui faiſant frapper l'air obliquement rend par la même la réſiſtance oblique, & doit par conſéquent l'écarter continuellement de ſa direction.

La premiere expérience que je fis à cette occaſion avoit pour objet de prouver que le mouvement de rotation combiné avec le mouvement progreſſif, devoit rendre oblique l'effort de la réſiſtance. Pour cet effet ayant pris un globe de bois de 4 pouces & demi de diametre, je le ſuſpendis à deux cordons ; & enſuite faiſant faire à la balle un grand nombre de tour, ce qui tordoit les deux cordons, j'abandonnai la balle à elle-même, en obſervant avant de la lâcher de l'éloigner à une diſtance conſidérable de la ligne perpendiculaire. Avant que le cordon en ſe tordant eut commencé à la faire tourner, elle fit ſes vibrations dans un plan vertical ; mais lorſqu'elle eut acquis un mouvement de rotation aſſez conſidérable, elle commença à s'écarter de ſa premiere direction tantôt à droite, tantôt à gauche, juſques-là qu'elle fit même des vibrations dans un plan perpendiculaire à celui dans lequel elle avoit commencé à ſe mouvoir ; & cette dérivation paroiſſoit être dûe non au mouvement du cordon même, mais à la réſiſtance qui ne preſſoit pas également les deux côtés

du globe. En effet, il continua à s'éloigner de ſa premiere direction lorſque le cordon étoit tout-à-fait détordu, & même, qu'il commençoit à ſe tordre dans un ſens contraire à cauſe du mouvement du globe. Il étoit très-facile de déterminer de quel côté ſe feroit la déclinaiſon, en remarquant avant de lâcher le globe de quel côté le mouvement de rotation s'uniroit avec le mouvement progreſſif ; c'étoit toujours de ce côté-là, que la force oblique pouſſoit le corps ; la réſiſtance étant plus grande en cette partie que dans celle où les mouvements progreſſifs de rotation ſe trouvoient oppoſés.

Cette expérience prouve ſûrement d'une maniere inconteſtable que toute balle qui, outre ſon mouvement progreſſif, a un mouvement de rotation autour de ſon axe, doit s'écarter néceſſairement de la direction dans laquelle elle avoit commencé à ſe mouvoir ; & comme il n'eſt pas poſſible qu'une balle, ou un boulet en paſſant à travers une piece ordinaire ne reçoive un pareil mouvement, en frottant rudement contre les parois de la piece,

on pourroit ſe contenter de cette expérience pour s'aſſurer de la vérité de notre Propoſition ; mais pour ne laiſſer aucun doute dans une matiere auſſi ſujette à conteſtation, j'entrepris de prouver aux yeux mêmes la réalité de cette déclinaiſon pour une balle de mouſquet, même dans un eſpace auſſi court que celui de 100 verges ; & comme mes expériences ont réuſſies à la ſatisfaction générale de tous ceux qui m'ont honorés de leur préſence, je vais expoſer ici, avec autant de briéveté qu'il me ſera poſſible, la maniere dont elles furent exécutées, & les réſultats qu'elles nous donnerent.

La force de la gravité agiſſant ſur tout boulet dans ſon mouvement, ſa déclinaiſon par rapport à ſa premiere direction doit ſe faire lorſqu'il monte ou qu'il deſcend dans un plan vertical, parce qu'alors la force de gravité eſt unie avec la force de déclinaiſon. J'ai donc donné tous mes ſoins pour examiner s'il étoit vrai que le boulet s'écartât dans ſon mouvement du plan vertical, dans lequel il avoit commencé à ſe mouvoir ; puiſque ſi cette déclinaiſon étoit réelle, ce que

nous avions avancé, étoit dès-lors prouvé inconteſtablement, nulle autre force que cette réſiſtance inégale ne pouvant obliger le boulet à s'écarter du plan vertical, dans lequel il commence à ſe mouvoir.

Or il eſt facile en plaçant pluſieurs écrans de papier fort mince, paralléle-ment les uns aux autres, & à certaines diſtances, de vérifier nos conjectures de pluſieurs manieres. En effet, en tirant des balles à travers ces écrans on pourra ſuivre le mouvement de la balle, & connoître ſi elle conſerve toujours un même plan vertical, ou ſi elle s'en écarte. On peut procéder à cet examen par trois méthodes que je vais expliquer auſſi diſtinctement qu'il me ſera poſſible.

Premiérement, on peut par le moyen de ces écrans tracer un plan vertical qui fera connoître aiſément la déclinaiſon d'une balle, en meſurant ſeulement ſon écartement horizontal par rapport à ce plan.

Ou ſi l'on regarde comme quelque choſe de trop difficile & de trop délicat, la conſtruction de ce plan vertical, on peut examiner cette queſtion d'une ſeconde maniere.

Il faudra pour cela fixer le canon dans quelque rainure ou fourchette, où il puiſſe avoir un peu de jeu à droite & à gauche ; de maniere néanmoins que toutes les lignes ſuivant leſquelles la balle peut être dirigée, aient leur commune origine au centre de la fourchette. Si l'on tire enſuite deux coups de ſuite leurs écartements réciproques & horizontals, marqués ſucceſſivement ſur deux écrans, doivent être proportionnels aux diſtances de ces mêmes écrans, au centre de la fourchette ; & ſi cette proportion ne ſe trouve pas, il eſt ſûr que l'une des balles ſe ſera écartée du plan vertical dans lequel elle avoit commencé à ſe mouvoir. Il eſt vrai qu'on ne pourra point aſſigner les quantités de déclinaiſon, parce qu'on ne peut déterminer laquelle des deux balles s'eſt éloignée le plus de ſa premiere direction.

Si l'on trouve encore qu'il ſoit bien difficile de conſerver à la fourchette ou rainure, une poſition conſtante & invariable, il eſt une autre méthode plus ſimple, & où tout conſiſte à tirer deux coups à travers trois écrans, & ſans avoir égard à la poſition de la piece. En

effet, ſi l'on prend l'écartement reſpectif & horizontal des deux balles ſur le premier écran, & qu'on le retranche des écartements ſur le ſecond & ſur le troiſieme, les deux reſtes ſeront entr'eux comme leurs diſtances au premier écran, & s'ils ne ſont point dans cette proportion, alors il ſera certain que l'une des deux balles au moins s'eſt écartée de ſa premiere direction; mais, ainſi que dans la méthode précédente, la quantité de la déclinaiſon ne pourra point être connue & déterminée.

J'ai fait uſage de ces trois méthodes en différents temps, & j'ai toujours trouvé que le ſuccès répondoit à mon attente; néanmoins la meilleure dont je me ſuis ſervi dans les expériences que je me propoſe de préſenter à la Société, eſt une quatrieme méthode compoſée des deux dernieres, ainſi qu'on va le voir. L'un des jours fixés pour faire nos expériences, le temps ſe trouva peu favorable, enſorte que celles qu'on fit, quoique aſſez concluantes, étoient néanmoins un peu trop confuſes; mais le Jeudi ſuivant ayant recommencé, nous plaçâmes deux écrans dans la grande

allée du jardin de la Chartreuſe, dont le premier étoit à 250 pieds, & le ſecond à 200 du mur qui ſervoit de troiſieme écran ; vis-à-vis du premier écran & à 300 pieds du mur, on poſa un gros bloc du poids d'environ 200lb, auquel on attacha une barre de fer avec une fourchette où devoit être placé le canon.

Ce canon étoit d'une longueur ordinaire, & fait pour une balle d'une once ; mais celle dont on ſe ſervit étoit 17 à la livre, & par conſéquent d'un très-petit diametre ; chaque fois que la piece fut tirée, la charge étoit d'un quart d'once de bonne poudre. Les écrans étoient faits du papier le plus mince, & la réſiſtance qu'ils oppoſoient à la balle devoit être bien petite, & bien incapable de la détourner de ſa direction, puiſqu'une des balles l'ayant une fois percé près de l'extrêmité de l'écran, il en reſta vers le bord un morceau tout entier, mais ſi mince qu'il étoit très-difficile de le toucher ſans le rompre. Tout étant ainſi préparé on tira cinq coups avec la piece, placée entre les branches de la fourchette, & ayant pris

en pouces ſur les écrans & ſur le mur les diſtances horizontales entre le premier coup qu'on prit pour une meſure fixe, & les quatre ſuivants, elles ſe trouverent être

| | Premier écran | Second écran | Mur |
|---|---|---|---|
| 1 à 2 | 1,75 D | 3,15 D | 16, 7 D |
| 3 | ,10 G | 15, 6 G | 69,25 G |
| 4 | 1,25 G | 4, 5 G | 15, 0 G |
| 5 | 2,15 G | 5, 1 G | 19, 0 G |

Les lettres D & G ſignifient que la balle s'écarte à droite ou à gauche.

Si on ſuppoſe que la fourchette ait toujours reſté immobile, & je crois que perſonne ne pourroit ſoutenir qu'elle eût pu s'écarter de plus de $\frac{1}{100}$ de pouce de ſa premiere ſituation, alors les diſtances horizontales meſurées ſur le premier & le ſecond écran, & ſur le mur doivent être entr'elles, comme les diſtances du premier au ſecond écran, & du mur à la fourchette. Or il ne paroît pas qu'elles gardent entr'elles ce rapport, puiſque la diſtance horizontale, entre la premiere & la 3^e. balle priſe, par exemple, ſur le mur eſt de 9 pouces plus grande qu'elle ne devroit être. Si,

ſans ſuppoſer une poſition conſtante & invariable à la fourchette, on examine par la troiſieme méthode expliquée ci-deſſus, les diſtances horizontales, nous trouverons encore des écartements plus conſidérables. Car les diſtances horizontales de la ſecond & troiſieme balle, par rapport à la premiere, furent dans ce cas, comme on peut voir ci-deſſous,

| Premier écran. | Second écran. | Mur. |
|---|---|---|
| 11,75 | 18,75 | 85,95 |

Et ſi, ſuivant la regle donnée ci-devant, on retranche la premiere diſtance des deux autres, les reſtes 7, & 74,2 doivent être dans la proportion de 1 à 5, s'il eſt vrai que les deux balles ſuivent toujours dans leur mouvement le même plan vertical; mais le dernier nombre eſt trop grand de 39,2, & par conſéquent la ſomme des déclinaiſons des deux balles eſt plus grande que 39 pouces, & cela en ſuppoſant ſeulement qu'elles aient parcouru un eſpace à peu près de 80 verges.

Pour prouver enſuite que ces irrégularités ne provenoient point de circonſ-

tances accidentelles, par exemple de la groſſeur des balles, on tira encore cinq coups avec une même quantité de poudre, mais avec des balles plus petites, qui rouloient dans le canon avec beaucoup plus de facilité que les premieres, & les diſtances horizontales des quatre dernieres balles par rapport à la premiere, ſe trouverent être en les exprimant en pouces,

| | Premier écran. | Second écran. | Mur. |
|---|---|---|---|
| 1 à 2 | 15,6 D | 31, 1 D | 94,0 D |
| 3 | 6,4 G | 12,75 G | 23,0 G |
| 4 | 4,7 D | 8, 5 D | 15,5 D |
| 5 | 12,6 D | 24, 0 D | 63,5 D |

Or en ſuppoſant comme dans les cas précédents, la poſition de la piece conſtante & invariable, je trouve encore que la diſtance horizontale entre la premiere & troiſieme balle meſurée ſur le mur eſt plus petite de 15 pouces de ce qu'elle devroit être, ſi l'une & l'autre balle eût toujours ſuivi le plan vertical dans lequel elle avoit commencé à ſe mouvoir. Il ſe rencontra auſſi dans les autres expériences de pareilles irrégularités, quoiqu'elles ne fuſſent pas auſſi conſidérables.

Si on examine par la troiſieme méthode ces mêmes déclinaiſons, & que l'on compare les diſtances horizontales entre la 3^e. & 4^e. balle priſes ſur les deux écrans & ſur le mur ; elles ſeront à peu près

| Premier écran | Second écran | Mur |
|---|---|---|
| 11,1 | 21,25 | 38,5 |

Maintenant ſi on retranche la diſtance priſe ſur le premier écran de celles qui ſe trouvent ſur le ſecond & ſur le mur, les reſtes ſeront 10,15 & 27,4, & la derniere quantité qui devroit être cinq fois auſſi grande que l'autre eſt de 23,35 trop petite. Enſorte que la ſomme des déclinaiſons des deux balles ſe trouve être de plus de 23 pouces.

Les expériences que nous venons de rapporter prouvent ſans doute inconteſtablement la vérité de notre aſſertion. Néanmoins pour ajouter encore aux preuves que je viens d'établir, j'ai pris un canon de fuſil de même calibre que celui dont je m'étois ſervi, & je l'ai courbé juſqu'à trois ou quatre pouces de ſon embouchure. La courbure formant avec l'axe de la piece un angle de

de 3 ou 4 degrés. Cette piece ayant été pointée dans la direction de cet axe même, je tirai une balle fort petite, puiſqu'elle ne peſoit qu'un quart d'once, avec une quantité de poudre égale à celle dont je m'étois ſervi dans les expériences précédentes. Il étoit naturel de penſer que la balle ſeroit jettée à gauche par la courbure de la piece ; mais comme en paſſant dans ce canon recourbé, elle étoit obligée de rouler ſur le côté droit & par conſéquent que ſon côté gauche devoit au ſortir du canon frapper l'air & augmenter la réſiſtance, j'annonçai à ceux qui étoient préſents, que ſi l'axe autour duquel tournoit la balle ne changeoit point de poſition lorſqu'elle ſeroit hors de la piece, il ſe pourroit faire néanmoins qu'elle formât une courbe à droite, malgré la direction à gauche que devoit lui communiquer la piece, & c'eſt auſſi ce qui arriva bien ſenſiblement. En effet, la balle qui ſortit de la piece recourbée alla percer le premier écran à un pouce & demi de diſtance, à gauche de l'endroit par où avoit paſſé la balle qu'on

avoit tirée avec un canon droit dans les dernieres expériences. Sur le ſecond écran, cette premiere balle ſe trouvoit encore éloignée de l'autre environ de trois pouces, & toujours à la gauche; mais il n'en fut pas de même ſur le mur. La direction de la balle tirée de la piece recourbée avoit croiſé celle de l'autre, & elle ſe trouvoit avoir conſidérablement décliné à la droite, de maniere que, quoique cette balle jettée d'abord du côté gauche ſe fût éloignée de la direction de la premiere, néanmoins elle s'en rapprochoit toujours en s'avançant par degrés vers la droite; un peu au delà du premier écran, elle croiſoit cette direction dont elle s'étoit écartée dans les commencements, & lorſqu'elle étoit parvenue au mur, elle s'en trouvoit éloignée de quatorze pouces à droite. Cette expérience non-ſeulement prouve la réalité de ce mouvement de déclinaiſon; mais elle confirme encore ce que nous avons dit touchant les cauſes auxquelles on doit l'attribuer.

Telles ſont les expériences qui ont ſervi de preuve aux nouvelles opinions que j'avois propoſées; elles ont été exé-

cutées assez publiquement, & elles ont si bien paru satisfaire ceux qui étoient présents, que je me crois à l'abri de ces critiques mordantes & malignes, dont on tâche toujours de déchirer ceux qui mettent au jour des sentiments nouveaux. Je suis néanmoins persuadé que cette opinion, qui est des plus intéressantes, détruisant une grande quantité de théories, de projets, de conclusions, dont sont remplis les ouvrages des auteurs qui ont écrit sur l'Artillerie, ne sera reçue qu'avec beaucoup de peine & de difficulté ; mais après les expériences que j'ai rapportées, qui ne sont néanmoins que bien peu de chose auprès de celles que j'ai faites dans dans la suite sur le même sujet, je pense qu'il ne sera pas facile de me faire des objections qui aient quelque apparence de raison ; & je crois être assez fort sur cette partie, pour pouvoir réfuter toutes celles qu'on pourroit me faire dans la suite. J'ajouterai seulement qu'ayant soupçonné que les effets du mouvement progressif, combiné avec le mouvement oblique, pouvoient être calculés ; sachant d'ailleurs qu'en suivant

les principes reçus ſur l'action des fluides, pluſieurs calculateurs refuſeroient d'admettre l'exiſtence de cette preſſion oblique ; pour rendre l'explication que je voulois donner à cette occaſion plus étendue & plus complette, j'y ai joint quelques expériences dans la vue de prouver l'inſuffiſance de toutes les théories établies & reçues, & de faire voir les variations inattendues & étonnantes auxquelles elles n'ont point eu égard ; le ſens de la Propoſition que j'avois avancé à ce ſujet, c'eſt que deux ſurfaces égales qui rencontrent l'air avec un même degré d'obliquité, éprouvent néanmoins des réſiſtances ſi différentes, que pour l'une cette réſiſtance eſt moindre que celle que rencontreroit une ſurface perpendiculaire à l'horizon, & que pour l'autre elle eſt beaucoup plus conſidérable. Pour prouver cette Propoſition, je me ſervis de la machine décrite au commencement de ce Mémoire, & ayant conſtruit une pyramide de carton dont la baſe étoit de 4 pouces quarrés, & dont les triangles latéraux formoient avec cette baſe un angle de 45° ; je

fis un parallélograme rectangle qui lui étoit égal en ſurface, & qui avoit 4 pouces de large ſur 5 $\frac{7}{8}$ de long; pour lors ayant ôté le globe P, & lui ayant ſubſtitué la pyramide, de maniere que ſon ſommet dût tourner le premier, j'attachai au cordon un poids de deux livres, & la pyramide après ſes 10 premieres révolutions en fit 20 autres en 33″; l'ayant enſuite tournée de façon que c'étoit la baſe de 4 pouces qui frappoit l'air, elle fit avec le même poids 20 révolutions en 38″ $\frac{1}{4}$.

Otant enſuite la pyramide, je mis à ſa place le parallélograme, & l'ayant diſpoſé de maniere que ſon grand côté fût perpendiculaire au bras GH, & que ſa ſurface fît avec l'horizon un angle de 45°, il fit avec le même poids que ci-deſſus, ſes 20 révolutions en 43″ $\frac{1}{2}$.

Or ce parallélograme étoit égal en ſurface à la pyramide, & rencontra l'air comme elle à un angle de 45°, cependant l'une fit 20 révolutions en 33″, tandis que l'autre y employa 43″ $\frac{1}{2}$, & on trouva en même temps que la baſe de la pyramide qui rencontroit

perpendiculairement la même quantité d'air, faiſoit 20 révolutions en 38″ $\frac{1}{4}$, ce qui tient le milieu entre les deux premiers nombres. Par conſéquent la vérité de notre Propoſition eſt inconteſtablement prouvée.

Pour donner encore une preuve plus ſimple & plus claire de ce principe, on prit un parallélograme de carton de 4 pouces de large ſur 8 $\frac{1}{4}$ de long : on le plaça ſur le bras GH, de maniere que ſon plus grand côté fût comme ci-devant perpendiculaire à ce bras, & que ſa ſurface fît avec l'horizon un angle de 45°; & ayant ſuſpendu au cordon un poids de 3 ℔ $\frac{1}{2}$, le parallélograme fit 20 révolutions en 40″ $\frac{3}{4}$, après quoi on changea ſa poſition; la ſurface étoit toujours inclinée de 45°; mais c'étoit ſon plus petit côté qui étoit perpendiculaire à GH : or au lieu de ralentir ſon mouvement, comme on eût dû s'y attendre à cauſe qu'il s'étendoit ſur l'axe de la machine plus loin que la premiere fois, il tourna au contraire beaucoup plus vîte, & fit ſes 20 révolutions en 35″ $\frac{3}{4}$. Enſorte qu'il ſe trouvoit 5″ de différence, ſans qu'on eût cependant fait aucun autre changement que de

coucher le grand côté ſur le bras GH, au lieu du plus petit. Quant aux cauſes de ces inégalités ſi extraordinaires, je n'entreprendrai point maintenant de les aſſigner, n'ayant point encore achevé toutes les expériences que je dois faire à ce ſujet. On peut cependant ſans rien hazarder conclure que toutes les théories établies juſqu'à préſent ſur la réſiſtance dont nous traitons, ſont extrêmement défectueuſes, & que ce n'eſt jamais que par des expériences ſemblables à celles que nous venons d'expoſer, qu'on pourra venir à bout de donner des principes vrais ſur ce ſujet intéreſſant. Je dis intéreſſant, puiſque ſi on ne le poſſede bien, il eſt impoſſible de rien ſtatuer de précis & d'utile ſur la conſtruction des vaiſſeaux, & ſur la navigation qu'il eſt ſi important de perfectionner, ſur-tout chez la nation Angloiſe, tant à cauſe de l'intérêt de chacun en particulier que pour l'avantage de l'humanité entiere.

## N°. IV.

*De la force de la poudre enflammée, & du calcul des vîteſſes qu'elle communique aux projectiles militaires.*

TOut ce que nous avons dit dans les Mémoires précédents a toujours eu pour objet principal la réſiſtance de l'air, & ſon action ſur les projectiles militaires ; mais outre ces connoiſſances la théorie de l'Artillerie en renferme encore une autre, je veux dire celle de la force de la poudre enflammée, & le calcul des vîteſſes qu'elle communique au boulet par ſon exploſion.

Je me ſuis déja fort étendu ſur ce ſujet, & comme les expériences que j'ai faites dans la ſuite ont encore ſervi à me confirmer dans mon premier ſentiment, j'inférerai ici, auſſi briévement qu'il me ſera poſſible, ce qu'il y a de plus eſſentiel dans cette théorie, avec quelques regles que j'en ai déduites pour calculer les vîteſſes des boulets au commencement de leur mouvement. Après quoi dans un

autre Mémoire, j'examinerai juſqu'à quel point les mouvements des boulets aſſignés par nos deux théories ſur la réſiſtance de l'air, & ſur la force de la poudre, s'accordent avec les expériences faites en différents endroits ſur les mouvements des bombes & des boulets. Il eſt vrai que la plupart de ces expériences n'ont point été faites, ni dans le même objet, ni avec aſſez de ſoin & d'exactitude; néanmoins ayant ramaſſé toutes celles qui ſont venues à ma connoiſſance, & trouvant que celles mêmes qui avoient été faites avec le plus de négligence, ne s'éloignoient pas conſidérablement des réſultats de la théorie; je me flatte qu'un tel examen pourra être en même temps & curieux & utile. Quant au préſent Mémoire, il eſt bon d'avertir que les Propoſitions que je vais y inſérer n'y ſeront point démontrées; mais je me propoſe de les prouver par une ſuite d'expériences, dès que la ſaiſon pourra le permettre, & j'aurai l'honneur d'en faire le rapport à la Société.

## PROPOSITION I.

La poudre enflammée dans tout eſpace agit à peu près de la même maniere, qu'une quantité d'air mille fois plus condenſé que celui que nous reſpirons, & renfermé dans l'eſpace même qu'occupoit la poudre avant l'exploſion.

Pour prouver cette Propoſition, il eſt néceſſaire de faire différentes expériences ſur les vîteſſes des boulets à l'inſtant qu'ils ſortent de la piece. Il eſt vrai que différentes eſpeces de poudre ont auſſi différents degrés de force ; mais nous ſuppoſons que la poudre dont il s'agit eſt compoſée ſuivant l'Ordonnance de l'Etat. Il peut encore ſe trouver dans les expériences de grandes variations, ſuivant les quantités de poudre qu'on emploiera, & la maniere dont la charge ſera placée dans le canon. Cependant dans une théorie générale, on ne doit point faire attention à tous ces inconvénients, quoiqu'il ſoit en quelque façon néceſſaire d'en traiter en particulier, & dans un endroit plus convenable.

## PROPOSITION II.

Il ſuit delà que la preſſion de la poudre ſur une balle diminue de plus en plus à meſure que la balle s'avance dans le canon ; en effet, à meſure que la balle eſt pouſſée en avant, la poudre enflammée occupe un plus grand eſpace, & par conſéquent ſon élaſticité diminue. Enſorte que, par exemple, ſi dans un canon de 24$^{lb}$ de balle, & long de 9 pieds, la charge avant d'être enflammée occupe un pied du cylindre, lorſque le boulet ſera parvenu à la bouche de la piece, la poudre occupera neuf fois autant d'eſpace qu'elle en occupoit au premier inſtant de ſon inflammation, & par conſéquent elle n'exercera plus ſur la balle que $\frac{1}{9}$ de ſa premiere preſſion ; & plus la piece ſera longue, plus l'action de la poudre vers la bouche du canon ſe trouvera affoiblie.

## PROPOSITION III.

Quoique la vîteſſe du boulet augmente en paſſant dans le canon, néanmoins l'accélération de cette vîteſſe diminue à meſure qu'il s'approche de la bouche ; & cela par deux raiſons : la premiere, c'eſt que la preſſion de la poudre diminue comme nous l'avons vu ci-deſſus ; la ſeconde, c'eſt que le boulet en augmentant de vîteſſe ſe ſouſtrait de plus en plus à ſon impulſion ; car il eſt clair que plus il a de vîteſſe, moins il doit être affecté dans un eſpace donné par l'action de la poudre qui le ſuit.

## PROPOSITION IV.

Si on tire ſucceſſivement la même piece avec différentes charges, la preſſion de la poudre ſur le boulet eſt à peu près dans tous les points du cylindre, comme la quantité de poudre dont étoit compoſée la charge.

C'eſt une conſéquence de l'analogie établie dans la premiere Propoſition en-

tre l'action de la poudre, & l'action de l'air condenſé. En effet, on n'ignore pas que l'élaſticité de l'air renfermé dans un eſpace donné eſt toujours comme ſa denſité.

## PROPOSITION V.

De la derniere Propoſition, il ſuit que ſi on emploie différentes charges, mais que le boulet ou la bombe ſoit toujours placé dans la piece de la même maniere, & dans le même endroit, comme il arrive pour les mortiers, alors l'impulſion de la poudre ſera comme ſa quantité, & cette même impulſion ſera auſſi comme le quarré de la vîteſſe, communiquée au projectile ; mais ſi le boulet eſt toujours placé contre la poudre, de maniere que lorſque la charge eſt plus petite, il ſoit plus près de la culaſſe que lorſqu'elle eſt plus forte, l'impulſion de la petite charge ſera un peu plus conſidérable que ſi elle étoit ſimplement en raiſon de ſa quantité. En effet elle agira ſur le boulet à travers un plus long eſpace que la charge plus forte, & l'eſpace additionnel eſt préci-

ſément celui où elle agira avec le plus de force, puiſqu'il eſt contigu à la charge même ; mais il faut prendre garde que s'il y a entre les charges une grande diſproportion, l'action de la plus petite peut être tellement affoiblie par des cauſes dont j'ai parlé ci-devant, que l'augmentation de vîteſſe dans le boulet pourroit bien n'avoir pas lieu.

## SCHOLIE.

En ſuivant ces principes, il ſera facile de déterminer géométriquement toutes les variations dans la force de la poudre que peuvent occaſionner les différentes charges, la longueur de la piece, la denſité du boulet ; & on pourra pareillement réfuter toutes ces notions chimériques qui ont regné ſi long-temps touchant ces particularités. Par exemple, tous ceux qui ſe ſont adonnés à la pratique s'imaginent que pour chaque piece il y a une charge déterminée, qui communique au boulet plus de vîteſſe qu'aucune autre, ſoit plus forte, ſoit plus petite, & ont fait en conſéquence pluſieurs expériences pour découvrir ce maximum ;

pluſieurs Profeſſeurs même de cette Ville ont prétendu derniérement l'aſſigner, nous diſant qu'il falloit dans un canon peſant qu'elle fût toujours égale environ au tiers du poids du boulet, & que dans des pieces légeres elle devoit peſer à peu près la moitié de ce même poids; mais par les principes précédents, les Géometres apprendront que chaque augmentation de poudre augmente la vîteſſe du boulet, à moins que la charge ne ſoit ſi grande qu'elle occupe les $\frac{1}{8}$ du cylindre. Pour lors en effet, ſi on augmentoit la charge, on diminueroit la vîteſſe du boulet, mais on n'emploiera jamais pour le ſervice des quantités de poudre qui ſoient dans ce rapport avec la longueur du canon, quelque courte que ſoit la piece. Car pour cela faire il faudroit par exemple, pour un canon de 24$^{lb}$ de balle, plus de 30$^{lb}$ de poudre. On a encore ſuppoſé, que pour chaque eſpece de canon il étoit une certaine longueur auſſi déterminée qui faiſoit acquérir au boulet plus de vîteſſe que ſi la piece eût été ou plus longue ou plus courte: or par la Propoſition précédente, on voit clairement que ce prin-

cipe n'eſt appuyé ſur rien, nonobſtant les épreuves nombreuſes faites pour confirmer cette ſuppoſition, ou pour trouver le maximum cherché. En effet, ſi on fait attention à la troiſieme Propoſition, il ſera aiſé de reconnoître que ſi deux pieces de différentes longueurs, ſont chargées avec d'égales quantités de poudre, la plus longue doit à la rigueur communiquer au boulet plus de vîteſſe que l'autre. Il eſt vrai que ces vîteſſes différeront de très-peu, à moins que les longueurs ne ſoient extrêmement diſproportionnées. En effet, ſi après avoir tiré un canon de mouſquet d'une longueur ordinaire avec une balle de plomb, & une charge égale à la moitié du poids de la balle, on raccourcit ce canon de moitié, & qu'on le tire avec la même charge & la même balle, la vîteſſe ſera de $\frac{1}{6}$ plus petite que ce qu'elle étoit la premiere fois; & ſi au lieu de raccourcir le canon on le rendoit deux fois auſſi long qu'il étoit auparavant, la vîteſſe de la balle ne ſe trouveroit augmentée que de $\frac{1}{8}$.

Plus la piece ſera longue par rapport au diametre, & la charge petite, plus

ces

ces variations dans la vîteſſe diminueront. Enſorte que ſi on augmente ou diminue d'un pied la longueur d'un canon de 24 livres de balles, la vîteſſe ne ſera augmentée ou diminuée que de $\frac{1}{40}$, ce qui eſt trop peu de choſe pour avoir jamais pu être déterminé par les expériences qu'on a faites juſqu'à préſent à ce ſujet.

Il ſuit encore des principes établis ci-deſſus, qu'on peut déterminer les vîteſſes réelles d'un boulet au ſortir de la piece ; ce qui fera connoître ſon amplitude poſſible. Nous avons expliqué dans un autre endroit la méthode géométrique d'y parvenir ; mais elle eſt un peu trop compliquée pour entrer dans ce Mémoire ; ainſi je me contenterai pour la commodité de ceux qui deſireroient faire là-deſſus des expérrences, & pour les mettre à portée de faire les calculs néceſſaires, d'établir ſimplement quelques regles pratiques, ſans en donner la démonſtration.

## *Regle I.*

Si on tire un boulet de fer avec une quantité de poudre dont le poids ſoit

égal au ſien, & dans une piece longue de ſoixante fois ſon diametre, l'amplitude poſſible de ce boulet ſera à peu près de 60000 verges, ou 30000 toiſes; & ſi on augmente ou diminue la charge & la longueur de la piece, l'amplitude ſera augmentée ou diminuée dans la même proportion. Ainſi ſi la charge ne peſe que la moitié du poids du boulet, & que la piece ne ſoit longue que de 30 fois ſon diametre, l'amplitude ſera de 30000 verge, ; & avec une charge qui ne ſoit que le quart du poids du boulet, & une piece longue de 15 fois ſon diametre, l'amplitude poſſible ſera de 15000 verges ou de 7500 toiſes.

## REGLE II.

Si l'on tire une balle de plomb avec une quantité de poudre qui lui ſoit égale en poids, dans une piece longue de 90 fois ſon diametre, ſon amplitude poſſible ſera de 60000 verges, & ſi la poudre & la longueur de la piece ſont augmentées ou diminuées enſemble, l'amplitude poſſible ſera auſſi augmentée ou diminuée dans la même proportion.

## REGLE III.

En général ſi des boulets quelle que ſoit leur gravité ſpécifique, ſont tirés avec des charges d'un poids égal aux leurs, & dans des pieces dont les longueurs ſoient à 60 de leurs diametres, comme la peſanteur de ces boulets eſt à celle d'un boulet de fer de la même groſſeur, l'amplitude poſſible de ces boulets ſera pareillement de 60000 verges, & ſi on augmente ou diminue en même temps, & la quantité de poudre, & la longueur de la piece, l'amplitude ſera augmentée ou diminuée dans le même rapport.

Il faut obſerver que dans toutes ces occaſions on ſuppoſe toujours le boulet contigu à la charge, & que le calibre eſt préciſément à ſa meſure.

## REGLE IV.

Si étant donné une piece, une charge & une balle, on propoſe de déterminer l'amplitude poſſible, il faudra procéder ainſi. Trouvez d'abord combien de fois la longueur de la piece contient le diametre de la balle, & quelle amplitude poſſible correſpond, ſuivant les regles

précédentes, à la quantité de poudre donnée. Soit cette amplitude poſſible égale à A, alors ſi la longueur de la piece eſt telle qu'elle doit être ſuivant les regles, A ſera l'amplitude poſſible cherchée ; mais ſi la piece eſt plus longue qu'elle ne devroit être pour que A fût l'amplitude poſſible, prenez la différence des logarithmes de ces deux longueurs, ( le logarithme de 10 étant l'unité ; ) multipliez cette différence par A, & ajoutez ce produit à A, la ſomme ſera l'amplitude poſſible cherchée. Si la piece au contraire eſt trop courte, il faudra retrancher de A ce même produit, & le reſte ſera l'amplitude poſſible qu'on demande.

Pour montrer l'application de ces principes, prenons un exemple parmi les expériences d'*Anderſon*. Suppoſons qu'on propoſe de déterminer l'amplitude poſſible d'une piece de 17 pouces de long portant un boulet de fer de cinq livres, & tirée avec une charge de 3 onces de poudre.

Le poids de la poudre eſt dans ce cas à peu près $\frac{1}{17}$ de celui du boulet, & la longueur de la piece environ cinq fois

ſon diametre; & on trouve par la ſeconde regle qu'une piece longue de deux & $\frac{1}{4}$ de fois le diametre du boulet, avec une pareille charge, auroit une amplitude de 2220 verges, ou 1110 toiſes de France; mais la piece dont il s'agit étant longue de cinq fois le diametre du boulet, il faudra multiplier par $2\frac{1}{4}$ la différence des logarithmes de $2\frac{1}{4}$ & de 5, & le multiplier par 2220, le produit qui eſt 780 doit être ajouté à 2220, parce que la piece eſt plus longue qu'elle ne devroit être ſuivant la regle, & la ſomme ou 3000 verges ſera l'amplitude cherchée; il faut obſerver que dans ces calculs il n'eſt pas néceſſaire de rechercher l'exactitude la plus ſcrupuleuſe, ce ſujet n'étant point de ſa nature compatible avec une détermination rigoureuſe & géométrique.

## REGLE V.

Ces regles ne concernant que les cas où le boulet eſt exactement placé contre la charge, ſi on veut les appliquer auſſi aux mortiers, lorſqu'une partie de la chambre eſt vuide, on le pourra faire en cette maniere. Il faudra cher-

cher par les regles précédentes quelle ſeroit l'amplitude poſſible, ſi la chambre etoit remplie, enſuite multipliant cette amplitude par l'eſpace que la poudre occupe dans la chambre, & la diviſant par la capacité totale, on aura l'amplitude poſſible cherchée.

## SCHOLIE.

Les regles que nous venons de donner ſuffiront toujours pour faire trouver quelque amplitude poſſible que ce ſoit. Il eſt vrai que le plus ou moins de denſité dans la poudre, & quantité d'autres circonſtances accidentelles, pourront occaſionner des variations conſidérables, & rendre les réſultats des expériences ſouvent très-différents de ceux du calcul; mais ces irrégularités ne ſeront ni ſi conſidérables, ni ſi fréquentes qu'on pourroit ſe l'imaginer. Si l'on ſe donne la peine de conſidérer cette partie de l'Artillerie, & qu'on faſſe attention à la profonde ignorance, où le monde eſt reſté touchant la force de la poudre, & la maniere dont elle agit, on conviendra aiſément que ſi quelqu'un, il y a quelque temps, eût

prétendu aſſigner la vîteſſe des boulets, on auroit regardé ſon entrepriſe comme quelque choſe de chimérique & d'impoſſible. Auſſi je ne puis m'empêcher de croire que ce rapport ſurprenant entre les réſultats des calculs, & ceux des expériences, faites avec les circonſtances les plus variées, ne ſoit bien digne d'attention, & ne confirme ſuffiſamment la vérité de notre théorie; d'autant mieux que ſi le calcul ne ſe trouve pas parfaitement d'accord avec l'expérience, on devoit s'y attendre par la nature même de la théorie. Ces différences ne ſe trouvant jamais qu'il ne ſe rencontre dans le calcul ou l'expérience l'une des circonſtances ſuivantes.

1°. La quantité de poudre peut être extrêmement petite par rapport à la piece, & au poids du boulet qu'elle doit chaſſer; dans ce cas la vîteſſe communiquée réellement au boulet ſera plus petite qu'elle ne devroit être ſuivant le calcul. Par exemple, une balle de mouſquet tirée avec une charge égale à $\frac{1}{24}$ de ſon poids, n'aura qu'une vîteſſe plus petite de près d'un $\frac{1}{3}$ que celle qui lui eſt aſſignée par la régle 1^ere^.

2°. Si dans un mortier la charge ne remplit qu'une petite partie de la chambre, la vîteſſe de la bombe ſera de beaucoup inférieure à celle que détermine le calcul. Ainſi, ſi dans une chambre capable de contenir ſix livres de poudre, on n'en met qu'une demi-livre, la vîteſſe de la bombe pourroit bien n'être que la moitié ou même le tiers de ce qu'elle devroit être, comparée avec celle que communiquent de plus grandes charges.

3°. Dans tous les cas, plus le calibre de la piece ſera grand, plus la force de la poudre ſera diminuée ; & au contraire elle augmentera ſi la lumiere eſt petite, & que le boulet rempliſſe la piece exactement, ſur-tout lorſqu'on emploiera des charges un peu conſidérables. Enſorte qu'il peut ſe faire que l'amplitude poſſible trouvée par le calcul ſoit trop petite, & doive être autée d'une 5e. ou 6e. partie.

4°. Il arrive encore ſouvent qu'on place la charge de différentes manieres, ce qui en change la force. Car la même quantité de poudre agit avec beaucoup plus de violence, lorſqu'elle eſt renfer-

mée dans un long cylindre, que lorſqu'elle en remplit un plus court, & d'une plus grande baſe. Du moins paroît-on gagner quelque choſe du côté de la force, en faiſant enſorte que la volée ſoit au moins trois fois auſſi longue que le diametre de ſon calibre. Lorſque les charges ſont petites, cette différence dans la forme des volées occaſionne dans l'impulſion que la poudre communique à la balle, des variations très-conſidérables. Ainſi que Mr. Hauksbée l'a autrefois démontré devant cette Société; mais lorſque la charge eſt un peu forte, & qu'elle eſt bien proportionnée au poids du boulet, je crois que la variation cauſée par cette circonſtance eſt très-peu de choſe.

Les regles & les méthodes que nous avons données ci-deſſus, peuvent, comme on a vu, déterminer en verges ou en toiſes les amplitudes poſſibles; & ſi on demandoit d'aſſigner la vîteſſe avec laquelle eſt mu le projectile, on pourroit encore, en ſuivant ces principes, la connoître par le moyen de la théorie des corps tombants. Néanmoins voici la méthode la plus expéditive pour détermi-

nér la vîteſſe d'un boulet étant connue ſon amplitude poſſible, du nombre qui exprime cette amplitude, ôtez $\frac{1}{28}$, ajoûtez enſuite deux zéros au reſte, & extrayez-en la racine quarrée, cette racine exprimera le nombre de pieds que le projectile peut parcourir en une ſeconde, & l'erreur qui ſe peut trouver dans le calcul ne paſſera jamais $\frac{1}{4000}$ de la vîteſſe totale. Si la vîteſſe étoit donnée, & qu'on cherchât l'amplitude poſſible, on pourroit la trouver par le même principe. Car en multipliant par lui-même, le nombre de pieds que parcourt le corps en une ſeconde, & à ce quarré ajoutant un $\frac{1}{27}$ de ce quarré même, retranchant enſuite deux chiffres de la ſomme, on auroit un nombre de verges qui exprimeroit l'amplitude cherchée.

Je viens de donner des régles pour connoître les amplitudes poſſibles, & la vîteſſe des bombes & des boulets tirés avec des pieces & des charges données. Dans le Mémoire précédent, j'avois expliqué une méthode pour déterminer les amplitudes de ces mêmes projectiles; on peut donc maintenant comparer les

réſultats des expériences avec ceux de la théorie.

Et afin de donner un exemple de la maniere dont il faut procéder dans cette comparaiſon, je me propoſe dans le Mémoire ſuivant, de rapporter un grand nombre d'expériences faites en différentes parties de l'Europe, avec les calculs provenus de l'application de la théorie à ces mêmes expériences ; ceux qui peuvent encore avoir quelque doute ſur la vérité & l'exactitude de nos principes, pourront s'en convaincre parfaitement, & j'imagine qu'ils penſeront qu'un ſi grand accord entre tant d'expériences différentes, & les régles que nous avons établies ci-deſſus, ne peut venir que de la vérité & de la certitude des principes ſur leſquels elles ſont fondées.

## N°. V.

*Comparaiſon des réſultats de la théorie avec ceux des expériences faites ſur les amplitudes des bombes & des boulets.*

APrès avoir établi dans les Mémoires précédents, n°. II & IV des principes pour calculer, tant la vîteſſe qu'un boulet acquiert par l'exploſion de la poudre, que la diſtance où il eſt porté ſous un angle donné, eu égard à la réſiſtance de l'air; je vais maintenant comparer les réſultats de ces calculs avec les mouvements réels des projectiles militaires; & je compte faire voir tant d'accord entre l'expérience, & la théorie, qu'on ne pourra plus la ſoupçonner d'être appuyé ſur une hypotheſe fauſſe & trompeuſe. D'autant mieux que la plupart de ces expériences ont été faites par d'autres que moi, qu'on peut les trouver dans leurs ouvrages, & qu'enfin l'objet qu'on a eu en les faiſant étoit bien différent de celui dont il s'agit. Enſorte qu'on ne pourroit m'ac-

cuſer d'avoir changé quelque choſe à leurs réſultats pour les faire revenir à une opinion dont je me ſerois laiſſé préoccuper.

Comme on pourroit peut-être s'imaginer que ce rapport ſingulier entre la théorie, & l'expérience ne vient que d'une compenſation entre les erreurs commiſes dans les différentes parties de la théorie ; comme ſi, par exemple, après avoir aſſigné à la poudre une force trop petite, on diminuoit pareillement la réſiſtance de l'air ; ou au contraire, ſi après avoir aſſigné une trop grande réſiſtance de la part de l'air, on attribuoit à la poudre plus de force qu'elle n'en a. Je commencerai pour confirmer la vérité de mes principes, par l'examen des amplitudes des bombes projetées par de grands mortiers. Car par toutes ſortes de raiſons, la réſiſtance de l'air eſt beaucoup moindre pour les bombes que pour les boulets. Enſorte qu'une erreur conſidérable dans la loi ou la quantité de la réſiſtance de l'air, ne cauſeroit à l'étendue des amplitudes, que de bien petits changements. Suivant ces principes, ſi les amplitudes actuelles de ces projec-

tiles trouvées par l'expérience s'accordent avecc elles que détermine la théorie, il faudra avouer que la vîteſſe qu'ils ont réellement acquiſe par l'exploſion, n'eſt pas fort différente de celle qui leur a été aſſignée par le calcul, & que par conſéquent on peut en toute ſûreté faire l'application de cette théorie à des projectiles plus petits, & mus avec plus de vîteſſe.

Le premier exemple que nous donnerons ſera une expérience faite avec un mortier de mer, de 13 pouces, contenant dans ſa chambre 30lt. de poudre; ces mortiers ont ordinairement une longueur de deux fois le diametre de leur calibre, ſans compter la longueur de la chambre, enſorte que ſa longueur totale peut être de deux fois & demi le diametre. Or par un extrait des livres de pratique tenus à *Woolwich*, j'apprends que ce mortier élevé à 45° avec ſa plus forte charge de poudre, jette une bombe de 12 pouces & $\frac{1}{4}$ de diametre à la diſtance de 3350 verges, la bombe peſant 231lb.

Cette bombe eſt à peu les $\frac{4}{5}$ du poids d'un boulet de fer de même diametre, & le poids de la poudre eſt $\frac{30}{231}$ de celui

de la bombe. Or en calculant ſuivant les principes de la 5e. regle du Mémoire précédent, l'amplitude poſſible ſera à peu près de 5000 verges; & le F correſpondant à cette bombe ſera de 3060 verges; mais comme cette bombe s'éleve à peu près à la hauteur perpendiculaire de 1000 verges, où l'air eſt de près de $\frac{1}{8}$ plus raréfié que celui d'en bas, la réſiſtance moyenne ſera diminuée d'environ $\frac{1}{16}$, & augmentant le F dans la même proportion, il deviendra égal à 3264, d'où par le coroll. de la 2e. Propoſition de notre ſecond Mémoire, l'amplitude actuelle ſera de 3230 verges, qui ne differe de celle qu'on avoit trouvée par l'expérience que de 120 verges. Enſorte que, malgré cette prodigieuſe charge de poudre, qui eſt beaucoup plus conſidérable que celle dont on ſe ſervît jamais dans l'Artillerie, la vîteſſe actuelle de la bombe eſt preſque égale à celle qui lui eſt aſſignée par la théorie précédente.

Le même mortier chargé avec 26lb de poudre, & élevé à 45°, porta la bombe à la diſtance de 3100 verges.

Or dans ce cas, ſuivant nos régles, l'amplitude poſſible doit être de 4330

verges ; & le F étant le même que dans l'exemple précédent, l'amplitude actuelle ſera de 2930 verges qui ne differe de l'amplitude réelle que de 170 verges.

Dans le temps même où je fis enſorte de me procurer ce rapport des expériences faites à *Woolwich*, j'appris qu'un mortier de vaiſſeau de dix pouces, élevé à 45°, avoit avec ſa plus forte charge du poids de 12lb, porté une bombe de 96lb à la diſtance de 3350 verges.

Ce mortier étoit de plus de ſon diametre plus long que le mortier précédent, enſorte que ſa longueur pouvoit être de 3,6 de fois de ſon diametre ; & la bombe étoit égale environ aux $\frac{24}{35}$ d'un boulet de même diametre, d'où nous trouverons, d'après les principes précédents, que l'amplitude poſſible devoit être d'environ 6230 verges, & le F de 2057 verges ; & augmentant le dernier nombre à cauſe de la raréfaction de l'air dans la partie ſupérieure de ſon élévation, on aura à peu près 2200 verges, & par conſéquent l'amplitude actuelle correſpondante ſera de 3190 verges, dont la différence avec l'amplitude réelle n'eſt que de 160 verges.

Un

Un autre mortier pour le ſervice de terre de 13 pouces de diametre & de 26 de longueur, dont la chambre pouvoit contenir plus de 9℔ de poudre, avec une charge de 9℔ & 10 onces, porta à 2000 verges de diſtance une bombe peſant 200℔.

Or ſuivant nos principes nous trouverons que l'amplitude poſſible de cette bombe eſt d'environ 2727 verges, & le F qui lui correſpond de 2672. D'où l'amplitude ſera de 1980 verges, qui ne differe de l'amplitude réelle que de 20 verges. Le même mortier élevé toujours à 45°, & chargé avec 4℔ de poudre jetta ſa bombe à la diſtance de 1000 verges. Dans ce cas, ſuivant le calcul l'amplitude poſſible eſt de 1200 verges, & l'amplitude eſt un peu plus de 1050, de ſorte qu'ici encore l'expérience differe très-peu du calcul.

J'ai encore fait quantité d'autres ſemblables comparaiſons pour des mortiers de tous les diametres, & j'ai trouvé que l'expérience étoit toujours d'accord avec la théorie, à moins que la charge ne fût dans un très-petit rapport avec le poids de la bombe, ou la capacité de la

chambre ; & même lorſqu'on emploie les charges les plus petites, ſi l'on a bien attention de placer la bombe ou le boulet, de maniere que la flamme ne puiſſe s'échapper, les amplitudes réelles différeront toujours très-peu de celles qu'aſſigne notre théorie.

De ces obſervations on peut conclure en toute ſûreté que l'action de la poudre enflammée, & ſa maniere d'agir doivent être à peu près telles que notre théorie les ſuppoſe, & par conſéquent on doit regarder comme ſûres nos méthodes de déterminer les amplitudes poſſibles des projectiles militaires. En effet dans les exemples précédents, la réſiſtance de l'air a beaucoup moins de force qu'à l'égard des boulets de canons; deſorte que nous ne pouvons nous tromper de beaucoup.

Après avoir confirmé, du moins à ce qu'il me paroît, la premiere partie de notre théorie, concernant l'action de la poudre, nous procéderons à l'examen des expériences qui peuvent ſervir de preuve à la ſeconde ſur la réſiſtance de l'air. Pour cet effet nous examinerons les amplitudes des boulets de canon qui

éprouvent de la part de l'air plus de réſiſtance que les bombes, & c'eſt à quoi nous bornerons cet eſſai.

Je commencerai par les expériences rapportées par *S. Remi* dans ſes Mémoires d'Artillerie, v. 1^er^, pag. 69, où il dit que pluſieurs pieces de canon de calibre ordinaire, longues de 10 pieds ayant été pointées à 45°, & chargées avec une quantité de poudre égale au deux tiers du poids de leurs boulets, les avoient portées aux diſtances qu'on peut voir dans la Table ſuivante :

| | | |
|---|---|---|
| La piece de | 24 lb | porta ſon boulet à 2250 Toiſes. |
| | 16 | . . . . . 2020 |
| | 12 | . . . . . 1870 |
| | 8 | . . . . . 1660 |
| | 4 | . . . . . 1520 |

La piece de 24 lb de balles ——— porta ſon boulet à . . . 2250 Toiſes.

Or, ſuivant nos principes, eu égard à la longueur de ces pieces, & à leurs diametres reſpectifs, les amplitudes poſſibles ſeront en verges Angloiſes, & les F correſpondants à chaque boulet en toiſes Françoiſes à peu près comme dans la Table ſuivante :

| | Amplitudes poſſibles. | F de chaque boulet. |
|---|---|---|
| Piece de 24 ℔ | 30000 verges | 825 toiſes. |
| 16 | 32400 | 720 |
| 12 | 34000 | 650 |
| 8 | 36650 | 570 |
| 4 | 40000 | 450 |

Mais avant de calculer delà les amplitudes par le moyen de notre théorie, il faut obſerver que les boulets dans le point le plus haut de la courbe qu'ils décrivent ſe meuvent dans un air qui n'a guere que les $\frac{3}{4}$ de la denſité de l'air inférieur, & par conſéquent les nombres F doivent être augmentés de $\frac{1}{8}$; après quoi réduiſant encore les amplitudes poſſibles, ſuivant que nous l'avons ci-devant expliqué à cauſe de la triple réſiſtance de l'air, on trouvera par notre théorie que les amplitudes different de très-peu de celles que *St. Remi* nous rapporte qu'il a trouvées. Ce qui paroîtra encore mieux par la Table ſuivante :

| | Amplitudes trouvées par l'expérience. | Amplitudes par la théorie. | Erreurs de la théorie |
|---|---|---|---|
| | Toises. | Toises. | Toises. |
| Pieces de 24lb | 2250 | 2255 | + 5 |
| 16 | 2020 | 2100 | + 80 |
| 12 | 1870 | 1990 | +120 |
| 8 | 1660 | 1804 | +144 |
| 4 | 1520 | 1558 | + 38 |

*St. Remi* nous rapporte encore qu'ayant chargé des pieces de même calibre, mais tant soit peu plus courtes, avec la moitié de la poudre qu'on avoit employé dans les autres expériences, c'eſt-à-dire, avec une charge égale en poids au tiers de celui du boulet, & l'ayant pointé à 45°. d'élévation, les boulets furent portées à la même diſtance que dans les exemples précédents : or on peut voir encore combien l'expérience s'accorde avec la théorie.

| Pieces tirées avec des charges égales au tiers de la peſanteur du boulet de | Amplitudes trouvées par l'expérience. | Amplitudes trouvées par la théorie. | Erreurs de la théorie. |
|---|---|---|---|
| | Toiſes | Toiſes. | Toiſes. |
| 24lb | 2250 | 2165 | — 85 |
| 16 | 2020 | 2020 | 0 |
| 12 | 1870 | 1920 | + 50 |
| 8 | 1660 | 1740 | + 80 |
| 4 | 1520 | 1510 | — 10 |

Notre théorie eſt encore confirmée par les expériences que les François ont fait à la Fere en 1739, & à Metz en 1740 ; comme les rapports manuſcrits de ces ſuites d'expériences me ſont tombés entre les mains, j'en rapporterai les principales & les plus remarquables.

Dans les expériences qui ont été faites à la Fere, les canons dont on ſe ſervit étoient de même calibre que dans les exemples précédents, on les chargea avec différentes quantités de poudre, & ils furent pointés ſous des angles de 4°, 15° & 45° ; le canon entr'autres qui portoit un boulet de 24lb fut pointé à différentes élévations, depuis 4° juſqu'à 45°, & fut chargé avec différentes quantités de poudre depuis 8lb juſqu'à 20lb.

Comme celles qui ont été faites ſous un angle de 45°, ſont à peu près les mêmes que celles que nous rapporte St. Remi, il ne ſera pas néceſſaire de les examiner, & par conſéquent nous nous attacherons ſeulement à celles qui furent faites avec le canon de 24lb de balles, pointé ſous ſept différents angles d'élévation, pris au-deſſous de 45°.

Dans ces expériences la charge étoit de 9lb, & on pourra voir dans la Table ci-deſſous, quelles furent les amplitudes réelles des boulets, & combien elles s'accordent avec notre théorie.

| Angles d'élévation | Amplitudes réelles d'une piece de 24, dans les Expériences faites à *La Fere*. | Les mêmes par notre théorie. | Erreurs de la théorie. |
|---|---|---|---|
| | Toiſes. | Toiſes. | Toiſes. |
| 40° | 2050 | 2096 | + 46 |
| 35 | 2020 | 2080 | + 60 |
| 30 | 1910 | 2032 | +122 |
| 25 | 1825 | 1930 | +105 |
| 20 | 1740 | 1820 | + 80 |
| 15 | 1675 | 1620 | — 55 |
| 4 | 820 | 725 | — 95 |

Dans le calcul je n'ai point eu égard à la diminution de la réſiſtance, lorſque le

boulet eſt parvenu au ſommet de la courbe qu'il décrit ; ce qui eût néanmoins encore augmenté l'amplitude, & par conſéquent les erreurs de la théorie ; quoique dans ce cas, il ſe trouve entre l'expérience & le calcul un rapport plus grand qu'on ne l'eût dû eſpérer, attendu la multiplicité des expériences & l'irrégularité & incertitude qui les accompagnent toujours, j'oſe néanmoins aſſurer que ſi on les répétoit avec les ſoins convenables & les précautions néceſſaires, la différence entre les réſultats de la théorie, & ceux de l'expérience, ſeroit encore moindre que dans les exemples précédents, dans leſquels, pour pluſieurs raiſons qu'il n'eſt pas néceſſaire de rapporter, il étoit plus difficile d'appliquer la théorie que dans les expériences qui furent enſuite faites à Metz ; mais continuons.

Dans les autres expériences qu'on fit enſuite à la Fere, on employa de nouvelles pieces, & on les pointa ſous différents angles ; elles ſont toutes compriſes dans la Table ſuivante, avec les nombres trouvés par la théorie ; mais il faut obſerver qu'il eſt vraiſemblable que,

dans quelques endroits du manuſcrit, les angles qu'on dit être de 4° devoient être de 5°. Si l'on m'accorde cela, les réſultats de notre calcul qui, dans le cas des petits angles, ſe trouvoient très-défectueux ſe concilieront avec les expériences ſans qu'il y ait une erreur ſenſible.

| Pieces. | Livres de Poudre. | Angles d'élévation. | Amplitudes réelles. | Amplitudes trouvées par notre théorie. | Erreurs de la théorie. |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Toiſes. | Toiſes. | Toiſes. |
| 16 | 6 | 15° | 1780 | 1540 | 240 |
| 16 | 6 | 4 | 825 | 707 | 118 |
| 12 | 4 | 15 | 1500 | 1440 | 60 |
| 12 | 4 | 4 | 820 | 680 | 140 |
| 8 | 3 | 15 | 1440 | 1320 | 120 |
| 8 | 3 | 4 | 770 | 650 | 120 |
| 4 | 2 | 15 | 1500 | 1200 | 300 |
| 4 | 2 | 6 | 862 | 780 | 82 |

Après avoir ainſi comparé avec nos calculs les expériences faites à la Fere en 1739, & dont le rapport avec une théorie vraie & certaine ne pouvoit être plus exact, à cauſe de la nature & de l'objet de ces expériences. Nous procéderons à l'examen de celles qui furent faites à Metz l'année ſuivante. On apporta dans celles-ci beaucoup plus de

ſoin & d'exactitude que dans les précédentes, & le rapport qu'on en fait eſt beaucoup plus ſincere, & mieux détaillé que le Mémoire précédent. En effet le réſultat de chaque expérience y eſt marqué, au lieu que dans l'autre Mémoire, on donnoit ſeulement les réſultats moyens, qui ont même été tronqués & diminués par celui qui les rapporte.

La ſeule piece dont on ſe ſervit à Metz, fut un canon de 24lb de balles, longue de 10 pieds, ainſi que je l'avois déja obſervé. On la chargea avec différentes quantités de poudre depuis 8lb juſqu'à 20lb, & elle fut toujours conſtamment tirée ſous un angle de 4°; mais comme elle étoit placée à 78 pieds au-deſſus de la plaine, où alloient tomber les boulets, ſon angle d'élévation à un terme moyen peut être eſtimé à peu près de 5°. On peut voir dans la Table ſuivante les réſultats de toutes ces expériences, (qui furent continuées, pendant trois jours) avec les amplitudes correſpondantes trouvées par notre théorie.

| Livres de poudre. | Amplitudes réelles. | Amplitudes trouvées par notre théorie. | Erreurs de la théorie. |
|---|---|---|---|
| | Toises. | Toises. | Toises. |
| — | 799 | 836 | + 37 |
| 8 | 844 | —— | — 8 |
| — | 829 | —— | — 7 |
| — | 887 | —— | — 51 |
| 9 | 715 | 843 | +128 |
| — | 917 | —— | — 74 |
| — | 855 | —— | — 12 |
| — | 812 | —— | + 31 |
| — | 742 | —— | +101 |
| — | 806 | —— | + 37 |
| — | 870 | —— | — 27 |
| — | 854 | —— | — 11 |
| — | 854 | —— | — 11 |
| — | 822 | —— | + 21 |
| — | 858 | —— | — 15 |
| — | 826 | —— | + 17 |
| — | 808 | —— | + 35 |
| — | 856 | —— | — 13 |
| — | 1010 | —— | —167 |
| — | 735 | —— | +108 |
| — | 900 | —— | — 57 |
| — | 783 | —— | + 60 |
| 10 | 834 | 850 | + 16 |
| — | 872 | —— | — 22 |
| — | 851 | —— | — 01 |
| — | 845 | —— | + 05 |
| — | 871 | —— | — 21 |

| Livres de poudre | Amplitudes réelles | Amplitudes trouvées par notre théorie. | Erreurs de la théorie |
|---|---|---|---|
| | Toises. | Toises. | Toises. |
| — | 838 | —— | + 12 |
| 11 | 837 | 857 | + 20 |
| — | 784 | —— | + 73 |
| — | 950 | —— | — 93 |
| — | 892 | —— | — 35 |
| — | 792 | —— | + 65 |
| — | 830 | —— | + 27 |
| 12 | 812 | 864 | + 52 |
| — | 807 | —— | + 57 |
| — | 882 | —— | — 18 |
| — | 899 | —— | — 35 |
| — | 842 | —— | + 22 |
| 14 | 840 | 878 | + 38 |
| — | 848 | —— | + 30 |
| — | 878 | —— | — 0 |
| — | 950 | —— | — 72 |
| — | 1060 | —— | —182 |
| — | 843 | —— | + 35 |
| 16 | 1000 | 891 | —109 |
| — | 898 | —— | — 7 |
| — | 970 | —— | + 79 |
| — | 835 | —— | + 56 |
| 18 | 950 | 903 | — 47 |
| — | 1000 | —— | — 97 |
| 20 | 1100 | 916 | —184 |
| — | 841 | —— | + 75 |

Si l'on compare entr'eux les nombres donnés par l'expérience, & ceux que donne la théorie, on reconnoîtra la vérité de ce que nous avons avancé dans d'autres occaſions: ſavoir, que notre théorie s'accordoit mieux avec les expériences, que les expériences ne s'accordoient entr'elles. En effet, de toutes les autres charges différentes qu'on employa depuis 8lb, juſqu'à 20lb, il n'y en a eu qu'une ſeule qui, étant répétée pluſieurs fois, donna deux amplitudes dont la différence avec celles de la théorie tomba du même côté. Je ne doute donc pas que ces expériences n'euſſent été également conformes à la théorie, ſi elles avoient été faites ſous des angles beaucoup plus grands. Au reſte, quand cela n'arriveroit pas, il ne faudroit pas ſe fier à des ſimples expériences, puiſque la même piece chargée deux fois avec 20lb de poudre, avoit envoyé le boulet à des diſtances qui différoient entr'elles de 259 toiſes, tandis que notre théorie ne s'éloignoit gueres jamais de la diſtance moyenne, entre toutes ces amplitudes de plus de 75 toiſes. Il faut donc attendre qu'on ait fait de nouvelles expériences

ſous des angles plus grands, pour pouvoir déterminer ſi les grandes différences qui ſe trouvent entre les réſultats de la théorie, & ceux de quelques-unes des expériences de la Fere, doivent être attribuées à la théorie, ou au peu de ſoins & de précautions qu'on y a apporté.

Tout ce que nous venons de rapporter ſuffiroit ſans doute pour confirmer la vérité de nos principes ; mais avant de finir ſur cet article, je vais, pour des raiſons particulieres, examiner auſſi les expériences faites à Woolwich en 1736, avec des canons de différentes longueurs de 24lb de balles. L'objet de ces expériences étoit de vérifier s'il y avoit pour un canon une certaine longueur déterminée, qui pût communiquer au boulet la plus grande vîteſſe poſſible, la charge étant la même. Pour trouver cette longueur, on avoit fondu 6 canons chacun de 24lb de balles, le plus court étoit de 8 pieds, & le plus long de 10 pieds & demi: on les chargea tous avec une égale quantité de poudre, & les ayant pointé ſous un angle de $7^{\circ}\frac{1}{4}$. On tira cinq coups avec chaque piece, & prenant les amplitudes

moyennes, on décida que c'étoit la piece de 9 pieds, qui portoit le boulet à une plus grande diſtance.

Mais avant de comparer les réſultats de ces expériences avec ceux de notre théorie, il ne ſera pas mal à propos de réfuter les faux principes que l'on en a déduits. Plus la piece a de longueur, plus elle doit porter loin le boulet ; mais les différences occaſionnées par le plus ou moins de longueur ſont trop peu de choſe pour pouvoir être déterminées par de pareilles expériences ; puiſque ſuivant nos principes les amplitudes de deux pieces, l'une de 9 pieds & l'autre de 9 pieds & demi, ne doivent différer que de 35 verges ; d'ailleurs deux des amplitudes de la même piece, de 9 pieds de long, different entr'elles de 650 verges, & même les volées moyennes de cette piece priſes en différents jours ( car ces expériences furent répétées pendant trois jours conſécutifs ) different encore entr'elles de 300 verges ; il me paroît donc que ce ſeroit inutilement qu'on voudroit par des épreuves de cette nature, déterminer quelle longueur on doit donner au canon pour communiquer au

boulet la plus grande vîteſſe poſſible, la différence qui ſe trouve entre deux expériences conſécutives étant 20 fois plus grande, que celle qu'on cherche entre les amplitudes de deux pieces de différentes longueurs.

Si on ſuppoſe que dans ces expériences la charge fût égale à la moitié du poids du boulet, (& je crois que cela étoit ainſi), pour lors l'amplitude poſſible pour des pieces de 9 à 9 pieds & demi de long, (ce qui eſt la longueur moyenne) ſera, ſuivant la théorie, d'environ 25000 verges; & réduiſant cette amplitude à cauſe de la triple réſiſtance de l'air, elle ſera d'environ 16200 verges; mais le diametre du canon portant un boulet de 24lb eſt de 5 pouces & $\frac{2}{7}$, par conſéquent le F ſera de 1700 verges, d'où l'amplitude ſous un angle de $7^{\circ}\frac{1}{4}$ ſera, à peu près de 2400 verges; & comme tous les boulets tomberent dans l'eau, ſi on ſuppoſe la ſurface de cet eau 10 verges au-deſſous de la plateforme où les pieces étoient placées, l'amplitude doit être augmentée à un terme moyen de plus de 60 verges; deſorte qu'elle deviendra de 2460 verges, qui s'accorde

s'accorde assez bien avec nos expériences. Car j'ai trouvé que la volée moyenne de tous les coups tirés de différentes pieces, fut un jour de 2584 verges, un autre de 2524, & un troisieme jour enfin de 2470. La premiere differe le plus de celle que je viens de déterminer par la théorie : la différence est de 124 verges ; mais c'est fort peu de chose après ce que nous avons observé, touchant les grandes variations qui accompagnent ces sortes d'épreuves.

Je pourrois sans plus rien appréhender terminer cet examen ; mais comme Eldred notre compatriote, qui étoit, il y a près de 100 ans, Maître Canonier du château de Douvre, nous a laissé un Mémoire sur des expériences faites avec des pieces & des charges extraordinaires, je finirai par en rapporter quelques-unes, parce qu'elles sont très-curieuses, & qu'elles serviront encore à confirmer notre théorie.

Je commencerai par celles qu'il fit avec une demi-coulevrine longue de 10 pieds 8 pouces, portant un boulet de 9 lb, & chargée de 7 lb de poudre.

Cette piece ayant été élevée à 10

degrés, & étant de plus placée ſur le rocher de Douvre, ce qui équivaloit encore à une élévation de 2°, porta ſon boulet à la diſtance d'environ 2840 verges.

En ſuppoſant que la poudre dont ſe ſervit Eldred fût de la même force que la poudre à canon, l'amplitude poſſible ſeroit alors d'environ 38400 verges, & en réduiſant, à cauſe de la triple réſiſtance, de 18600 verges ; mais le F eſt de 1200 verges, & par conſéquent l'amplitude ſous un angle de 12° ſera de 2820 verges, ce qui s'accorde parfaitement avec l'expérience.

Les expériences les plus extraordinaires que rapporte Eldred, ſont celles qu'il fit avec une piece qu'il appelle la baſilique. C'eſt un canon très-long, & que doivent connoître tous ceux qui ont vu le château de Douvre, elle eſt longue de 23 pieds, portant un boulet de 10lb ; cette piece qui fut tirée pluſieurs fois avec une charge de 18lb de poudre à 2° d'élévation, porta ſon boulet à la diſtance de 1200 verges, & à 4° ¼ elle le porta à peu près à 2000.

Cette coulevrine peut être longue d'en-

viron ſoixante-cinq fois ſon diametre, & ſuivant notre théorie l'amplitude poſſible doit être à peu près de 84000 verges, ou, à cauſe de la triple réſiſtance, de 24200 verges; mais le F correſpondant à un boulet de 10lb étant de 1240 verges, l'amplitude ſous un angle de 4° ¾ ſera de 2080 verges, & ſous un angle de 2°, de 1180 verges. Or l'une & l'autre approchent de fort près celles qu'avoit trouvé Eldred. Il faut auſſi obſerver que, dans le cas où les angles ſont très-petits & les amplitudes poſſibles fort grandes, on diminue un peu les amplitudes en réduiſant les premieres à cauſe de la triple réſiſtance.

Il eſt bon de remarquer que ces dernieres expériences faites avec la baſilique, fourniſſent une preuve inconteſtable de ce que nous avons avancé touchant la prodigieuſe augmentation de réſiſtance dans les grandes vîteſſes. En effet, je ſuis perſuadé que cette piece avec 2lb de poudre, ou $\frac{1}{9}$ de la charge employée par Eldred, auroit fourni ſous un angle de 4° ¾, à moins qu'elle ne fût d'un énorme calibre, une amplitude de 1500 verges. Enſorte qu'en mettant

une charge 9 fois auſſi forte que celle-ci, on n'auroit augmenté l'étendue de l'amplitude que dans le rapport de 3 à 4.

Il ne faut cependant pas s'imaginer que les regles données pour déterminer les amplitudes poſſibles, puiſſent dans ce cas devenir inſuffiſantes, à cauſe de la prodigieuſe vîteſſe avec laquelle une auſſi forte charge de poudre doit ſe dilater, & pouſſer le boulet à travers ce long cylindre ; car par des expériences que j'ai rapportées en un autre endroit, & que j'ai faites avec un canon auſſi long que la baſilique, mais d'un petit calibre, il paroît que la charge qui occupoit un $\frac{1}{6}$ du cylindre (enſorte qu'elle étoit à cette piece comme 18$^{lb}$ de poudre étoit à la baſilique) porta la balle à une diſtance qui s'accordoit aſſez bien avec celle qu'aſſignoit la théorie, ſeulement elle étoit un peu plus conſidérable, ainſi qu'on devoit s'y attendre, à cauſe de la charge qui étoit très-forte par rapport à la piece. Car une grande quantité de poudre, au lieu d'avoir moins de force, toute proportion gardée, qu'une petite charge, ainſi qu'il devroit arriver ſuivant le préjugé commun, ſe

trouve toujours en avoir davantage, & ſon action doit par conſéquent être plus grande que celle que lui aſſigne la théorie. Deſorte que je crois que l'amplitude poſſible aſſignée par la théorie pour le boulet tiré avec la baſilique, étoit véritablement ſon amplitude poſſible, à moins que la poudre dans ce temps-là ne fût inférieure en force à celle dont on ſe ſert aujourd'hui ; je ne vois point de raiſons qui puiſſent me perſuader du contraire.

Mais ſi l'amplitude poſſible de ces boulets tirés par Eldred, eſt à peu près la même que celle que leur aſſigne le calcul, c'eſt-à-dire, ſi elle eſt d'environ 84000 verges ou 47 milles, il s'enſuit que leur amplitude ſous un angle de $4^{\circ}\frac{3}{4}$, n'eſt pas la 7^e^. partie de leur amplitude poſſible ſous le même angle ; & par conſéquent leur amplitude ne ſera gueres que la 20^e^ partie de leur amplitude poſſible : on peut voir de-là combien eſt prodigieuſe l'action de la réſiſtance de l'air ſur ces projectiles.

Telles ſont les expériences que j'ai inſérées dans ce Mémoire ; ce n'eſt pas qu'elles ſoient ſeulement la dixiéme partie de

celles que j'ai faites moi-même pour ma propre ſatisfaction ; mais la plupart ont été exécutées par d'autres perſonnes ; & c'eſt pourquoi je les ai choiſies préférablement aux miennes, afin qu'on ne pût me ſoupçonner de mauvaiſe foi. J'ai eu ſoin auſſi de rapporter celles qu'on avoit faites avec de gros mortiers, & des canons de grand calibre. Parce qu'on avoit objecté autrefois contre mes nouveaux principes d'Artillerie, que ne m'étant ſervi que de petites pieces dans mes expériences, je ne pouvois rien conclure pour les grandes dont les charges étoient beaucoup plus fortes.

*Les Traités ſuivants n'ont jamais été imprimés, excepté le ſecond que l'on réimprime aujourd'hui d'après une copie corrigée par l'Auteur.*

# MAXIMES PRATIQUES

*CONCERNANT les effets & la conduite de l'Artillerie, & la portée des bombes & des boulets.*

COmme dans les Mémoires précédents, nous avons donné des principes ſur les mouvements réels des projectiles, & que nous avons prouvé, de la maniere la plus inconteſtable, l'accord qui ſe trouve entre notre théorie & l'expérience, on croira peut-être qu'il eſt inutile de rien ajouter pour expliquer & confirmer encore cette nouvelle théorie; mais comme il arrive ſouvent que les preuves les plus évidentes ne peuvent prévaloir ſur des préjugés établis depuis long-temps, j'ai penſé que je ne ferois pas mal de traiter quelques-uns de ces articles d'une maniere plus à la portée de tout le monde, afin qu'ils ſoient plus faciles à concevoir pour ceux qui étant incapables de donner beaucoup d'attention à nos démonſtrations, ſe laiſſeroient emporter

par la prévention ; & comme le but principal de ces Mémoires eſt de rectifier les idées qu'on s'étoit formées juſqu'aujourd'hui ſur la nature & les effets de l'Artillerie, j'ai imaginé que le meilleur moyen d'y parvenir étoit de réfuter ſéparément chacune de ces fauſſes opinions, & de prouver l'inſuffiſance des expériences ſur leſquelles on prétend fonder la plupart d'entr'elles. En effet, quoiqu'en établiſſant ſur des preuves inconteſtables les vrais principes d'un art, on réfute par-là même toutes les ſuppoſitions oppoſées & contraires, cependant cela ne ſuffit pas pour ceux qui ſe laiſſent entraîner par l'autorité, l'ancienneté & l'habitude ; il faut encore pour les convaincre, ( ſi cela eſt poſſible) examiner en forme l'hypotheſe qu'ils ont adoptée, quelque choquante qu'elle ſoit. Il faut de plus leur démontrer comment & par où péchent leurs conſéquences. Venons à nos maximes.

## MAXIME I.

Dans toute piece d'Artillerie plus la charge ſera forte, plus la vîteſſe du boulet ſera conſidérable.

On ſuppoſe communément que la poudre dans une piece s'enflamme par degré pendant tout le temps que le boulet met à parcourir l'ame de la piece. Delà on a conclu qu'il devoit y avoir une certaine charge qui ſeroit entiérement enflammée, lorſque le boulet ſeroit parvenu à la bouche de la piece, & c'eſt ce qu'on appelle ſa juſte charge; deſorte que ſi on l'augmentoit, une partie de la poudre ne prenant pas feu, diminueroit par ſon poids l'action de l'autre, & dans cette hypotheſe le boulet auroit moins de vîteſſe qu'il n'en avoit avant qu'on eut augmenté la charge ſuppoſée. Nos Canoniers modernes imaginent communément que cette juſte charge ne doit être ni plus grande que la moitié du poids du boulet, ni plus petite que le $\frac{1}{3}$: Voilà en ſubſtance quelle eſt l'opinion commune ſur ce ſujet ; toutes les parties en ſont également inſoutenables. En effet la poudre ne s'enflamme point par degré, (ainſi que nous l'avons amplement démontré ci-devant), & on n'emploie jamais dans la pratique de charge ſi forte, qui étant augmentée, ne communique au boulet une plus

grande vîteſſe. Car j'ai trouvé avec une piece du plus petit calibre uſité, & qui étoit longue d'environ 30 fois ſon diametre, qu'une balle de fer tirée avec une charge égale à la moitié de ſon poids, & qui s'étoit enfoncée de 5 pouces à un terme moyen, dans une ſolive de chêne placée à 10 verges de la bouche du canon, y étoit entrée au moins de 10 pouces à un terme moyen, lorſqu'on l'eut tirée trois fois avec une charge triple de la premiere, c'eſt-à-dire, égale à une fois & demie le poids de la balle. J'ai fait encore pluſieurs autres expériences de cette eſpece, ( car avec des petites pieces, il eſt très-facile de les répéter autant qu'on le veut ); & j'ai toujours trouvé que ſi on augmentoit la charge, du moins juſqu'à ce qu'elle fût égale à deux fois le poids de la balle, cette balle pénétroit toujours plus avant dans le bois, ce qui eſt une preuve de l'accroiſſement de ſa vîteſſe. Si on me diſoit que les mêmes effets n'ont pas lieu dans de plus groſſes pieces, je répondrois que ſi on fait attention à la maniere dont on éprouve les pieces de 24 ( qui ſont les plus fortes dont on faſſe com-

munément uſage), & qu'on obſerve bien toutes les circonſtances, on pourra facilement s'en convaincre. Car ſi l'on examine la chaleur de la piece, la prodigieuſe vîteſſe à l'inſtant de l'exploſion, & la profondeur à laquelle le boulet s'enfonce dans une maſſe de terre, on reconnoîtra aiſément que, lorſqu'on met une charge égale, ou au poids du boulet ou aux deux tiers de ce poids, (comme l'on a coutume de faire pour ces épreuves) le boulet acquiert une vîteſſe bien plus grande que lorſqu'on ſe ſert d'une charge ordinaire, qui n'eſt le plus ſouvent que la moitié du poids du boulet. Dans ce cas le boulet s'enfoncera dans la terre à une profondeur plus grande d'un tiers qu'elle n'eût été ſi on eût chargé la piece avec la quantité de poudre ordinaire : on peut donc aſſurer que l'hypotheſe où l'on ſuppoſe qu'il eſt une certaine charge, qui communique au boulet la plus grande vîteſſepoſſible, eſt fauſſe en tout point.

Si l'on demande comment une opinion, qu'il eſt ſi facile de réfuter par les faits qui ſe préſentent chaque jour dans la pratique, a pu être ſi long-temps &

ſi vivement ſoutenue, je réponds que ce qui lui a d'abord donné naiſſance, c'eſt l'hypotheſe plauſible de l'inflammation progreſſive de la poudre ; & lorſqu'une fois on l'eut avancé comme un ſujet de ſpéculations, il ne manqua pas de gens qui prétendoient la confirmer par des expériences ſur les amplitudes d'une même piece chargée de différentes quantités de poudre. Nous expliquerons dans la ſuite quelles étoient ces expériences, & combien elles étoient illuſoires.

En établiſſant cette maxime, je me ſuis borné à l'examen des pieces dont on fait uſage ; mais s'il arrivoit que la piece fût ſi courte, & la charge ſi conſidérable qu'elle occupât les $\frac{1}{8}$ du cylindre, pour lors, en augmentant la quantité de poudre, on n'ajouteroit rien à la vîteſſe du boulet, ainſi que je l'ai prouvé par des principes trop compliqués pour être rapportés ici ; mais c'eſt un cas qui ne ſe rencontra jamais dans la pratique : ainſi cette exception ne fait rien à la fauſſeté du préjugé commun.

## MAXIME II.

Si on tire avec une même charge deux pieces de différentes longueurs, celle qui ſera la plus longue communiquera au boulet le plus de vîteſſe.

La ſuppoſition de l'inflammation ſucceſſive de la poudre a encore conduit à une nouvelle erreur. On s'eſt imaginé qu'il étoit pour toute piece une certaine longueur, paſſé laquelle le boulet ne pouvoit plus acquérir autant de vîteſſe; & quelques-uns ont déterminé que cette longueur pour les pieces de 24 devoit être de 20 fois le diametre du calibre, lorſque la charge eſt égale à la moitié du poids du boulet.

Comme nous avons certaines coulevrines, fondues depuis pluſieurs années, qui ont une longueur d'environ 60 fois le diametre de leur calibre, au lieu que celle des pieces ordinaires n'eſt que de 20 diametres, j'ai examiné à quelle profondeur pénétreroit dans le bois une balle de fer tirée d'abord avec une piece longue de 60 fois ſon diametre, & enſuite avec cette même piece occupée de maniere qu'elle n'eût plus

que 20 diametres de longueur ; j'ai trouvé que, dans le premier cas, la balle s'enfonçoit deux fois autant que dans le ſecond, & même davantage ; & j'aſſure qu'en faiſant la même expérience avec des pieces d'un calibre quelconque, on trouvera un réſultat peu différent, pourvu qu'on ait ſoin que la poudre ſoit en bon état, que le ſolide dans lequel la balle doit pénétrer, ſoit ſi près de la piece que la réſiſtance de l'air ne puiſſe que retarder bien peu la vîteſſe, & enfin que ce même ſolide ſoit d'une texture uniforme & égale.

Puiſqu'il eſt certain que ces coulevrines énormes qui ont plus de 20 pieds de long, & dont on a abandonné l'uſage parce qu'il étoit trop difficile de les manier, portent cependant leur boulet plus loin que toutes les autres pieces plus courtes, il s'enſuit que parmi les pieces dont on ſe ſert dans la pratique, il n'en eſt point de ſi longue qui, étant encore alongée, ne communique aux boulets une plus grande vîteſſe ; & par conſéquent dans la pratique, notre maxime ſera toujours vraie. Car il eſt bien évident que ſi l'action de la pou-

dre; lorſque le fluide ſe ſeroit échappé ou dilaté, ſe trouvoit affoiblie à tel point qu'elle devînt moins forte que la réſiſtance & le frottement que le boulet éprouve au travers de la piece ; il eſt évident, dis-je, que pour lors ſi on raccourciſſoit le canon, on augmenteroit la vîteſſe du boulet ; mais c'eſt un cas qui n'arrivera jamais tant qu'on ſe ſervira de charges ordinaires, à moins que la piece ne fût beaucoup plus longue que toutes celles qu'on a éprouvé juſqu'à préſent : or il ſeroit donc fort inutile, en établiſſant nos maximes ſur la conduite de l'Artillerie, d'aller faire attention à un cas qui ne peut ſe rencontrer dans la pratique.

## *MAXIME III.*

Si deux pieces de différents poids & de différents métaux, ont un même calibre & des longueurs égales, & qu'elles ſoient chargées avec des quantités de poudre & des boulets de même poids, elles communiqueront à ces boulets à peu près un même degré de vîteſſe.

Car comme ces pieces doivent être

ſuppoſées aſſez fortes pour réſiſter à l'effort des charges ordinaires de poudre, ſans changer ſenſiblement de figure, il n'y a point de raiſons pour que l'une porte ſon boulet plus loin que l'autre. Quoique leur extenſion momentanée, & l'élaſticité avec laquelle elles reprennent leurs formes, puiſſent être différentes dans les différents métaux, néanmoins cette inégalité eſt ſi peu de choſe, que les variations qu'elle peut occaſionner doivent être inſenſibles ; & quoique le poids de la piece puiſſe à la rigueur influer ſur le mouvement du boulet, cependant comme la vîteſſe d'un boulet tiré de la piece la plus légere dont on puiſſe faire uſage, n'eſt tout au plus que de $\frac{1}{100}$ plus petite que celle d'un pareil boulet tiré avec une charge égale, & une piece des plus peſantes, on peut ſans rien riſquer admettre notre maxime. Lorſque j'ai voulu l'établir, je ne m'en ſuis pas tenu ſimplement à la ſpéculation. J'ai fait faire pluſieurs pieces de même calibre & même longueur, mais de différents métaux, d'un poids & d'une épaiſſeur très-différents ; & ayant fait ſur chacune

cune d'elles pluſieurs expériences, je n'ai jamais remarqué aucune différence conſtante entre les vîteſſes qu'elles communiquoient à leurs boulets. Il eſt donc impoſſible, de ne pas reconnoître la vérité de notre maxime (au moins dans la pratique) quelque oppoſée qu'elle puiſſe être aux préjugés qui régnent depuis ſi long-temps.

## *MAXIME IV.*

Les amplitudes des pieces ne peuvent point marquer exactement les vîteſſes des boulets. Puiſque la même piece tirée ſous le même angle avec la même charge, & les mêmes circonſtances autant qu'il a été poſſible, porte néanmoins le boulet à des diſtances très-différentes.

Les différences qui ſe trouvent entre les amplitudes ſucceſſives d'une même piece pointée ſous le même angle, & avec la même quantité de poudre ſont ſi conſidérables, qu'elles paroîtront preſque incroyables à ceux qui ne ſont point au fait de ces ſortes d'expériences. On attribue communément à la poudre toutes ces irrégularités; mais ſi cela étoit, elle ne pourroit qu'augmenter

ou diminuer l'étendue des amplitudes. Au lieu qu'il arrive ſouvent que non-ſeulement elles ſont différentes, quant à la longueur, mais encore que le boulet s'écarte prodigieuſement à droite ou à gauche de ſa premiere direction. Car j'ai vu deux boulets tirés ſucceſſivement & avec le plus grand ſoin, avec une piece dont la poſition étoit conſtante & invariable s'écarter tellement l'un de l'autre, que lorſqu'ils furent tombés dans la plaine leurs directions formoient un angle de 15°.

## MAXIME V.

Les différences qui ſe trouvent entre les amplitudes d'une même piece, viennent en grande partie de la réſiſtance de l'air.

Car, comme nous l'avons déja remarqué, le boulet dans ſon mouvement eſt détourné à droite ou à gauche de ſa premiere direction, ce qui ne peut être attribué qu'à la réſiſtance de l'air.

## MAXIME VI.

La réſiſtance de l'air agit ſur un projectile de deux manieres : 1°. elle

s'oppoſe à ſon mouvement, & ralentit continuellement ſa vîteſſe : 2°. elle l'éloigne ſans ceſſe du plan vertical dans lequel il tendoit à ſe mouvoir. Delà proviennent ces déclinaiſons dont nous venons de parler : on en donnera la preuve dans les maximes ſuivantes.

## MAXIME VII.

L'action de l'air ſur les projectiles, quoiqu'elle ait été juſqu'à préſent négligée par tous les auteurs qui ont écrit ſur l'Artillerie, a cependant dans bien des cas une force prodigieuſe ; & le mouvement de ces corps ſe trouvant changé & ralenti par la réſiſtance, eſt très-différent de celui qu'on leur aſſigne communément.

Tous les auteurs qui ont donné des théories ſur les mouvements des projectiles militaires, ont ſuppoſé que la réſiſtance que l'air oppoſe aux bombes & aux boulets eſt ſi petite eu égard au poids de ces corps, que les effets en étoient inſenſibles ; & delà on a conclu que la ligne que ces corps décrivent dans leurs mouvements étoit une parabole.

On donna même en conſéquence des regles pour déterminer leurs amplitudes ſous un angle quelconque, pourvu qu'on connût la vîteſſe qu'ils ont au ſortir de la piece ; mais comme ces regles ne peuvent être vraies, que dans l'hypotheſe où la réſiſtance de l'air ſeroit inſenſible, j'ai cru que le meilleur moyen de connoître ſi on pouvoit compter ſur une pareille ſuppoſition, étoit de comparer les amplitudes des bombes & des boulets, avec celles qui leur étoient aſſignées par ces regles. J'ai fait à ce ſujet pluſieurs expériences, & j'ai trouvé que lorſqu'on tiroit un boulet avec de petites charges, pour lors la réſiſtance étoit en effet peu conſidérable ; mais auſſi j'ai remarqué qu'en augmentant la charge, & accélérant par conſéquent ſa vîteſſe, la réſiſtance de l'air ſe trouvoit de beaucoup augmentée ; & celle que rencontre un boulet tiré avec ſa charge ordinaire eſt d'une force preſque incroyable. Par exemple, ſi un boulet de 24$^{lb}$, eſt tiré avec une charge ordinaire, la réſiſtance de l'air ſera égale pour le moins à un poids de 400$^{lb}$, & elle retardera tellement la vîteſſe du

boulet que ſon amplitude ne ſera tout au plus que la 5^e. partie de ce qu'elle ſeroit ſans la réſiſtance de l'air. Dans les boulets moins peſants les effets de cette réſiſtance ſont encore plus conſidérables. Pour m'en aſſurer je fis pluſieurs expériences avec une boule de bois tirée ſous un angle de 45°, & au lieu de parcourir 15000 verges, comme elle eût dû le faire, elle n'étoit pas ſeulement portée à 200; deſorte que l'amplitude réelle n'étoit que la 75^e. partie de l'amplitude poſſible; mais il eſt aſſez évident que la vîteſſe du mobile augmentant, la réſiſtance doit auſſi augmenter; en examinant la choſe de bien près on trouvera qu'à une vélocité double répond une réſiſtance preſque quadruple, & que ſi la vîteſſe eſt triplée, la réſiſtance devient à peu près 9 fois plus grande, & ainſi de ſuite. Il ne faudra pas néanmoins faire uſage de cette regle lorſqu'il s'agira de deux vîteſſes, dont l'une eſt plus petite que la vîteſſe de 1200 pieds par 1″, & dont l'autre eſt plus grande. Car paſſé cette eſpece de limite, la réſiſtance devient trois fois plus grande qu'elle ne devroit être, ſi on calcu-

loit ſuivant notre regle. Comme nous trouverons dans la ſuite que c'eſt à cette réſiſtance triple qu'on doit attribuer dans l'Artillerie, quantité d'effets extraordinaires qui ont donné matiere à bien des conteſtations, il ne ſera pas inutile d'inſérer parmi nos maximes, les deux obſervations que nous venons de faire; ce ſera le ſujet des deux ſuivantes.

## MAXIME VIII.

La réſiſtance de l'air agit avec plus ou moins de force, ſuivant que le mouvement du projectile eſt plus ou moins rapide; elle eſt à peu près en raiſon des quarrés des vîteſſes, (en obſervant qu'elle ne ſuit plus cette loi paſſé un certain terme), c'eſt-à-dire, que ſi à un certain degré de vîteſſe répond une réſiſtance analogue, à deux degrés de vîteſſe répondra une réſiſtance quadruple de la premiere, & à 3 degrés de vîteſſe une réſiſtance 9 fois plus grande, & ainſi de ſuite.

## MAXIME IX.

Ce rapport entre les réſiſtances ne ſubſiſte plus, dès que l'une des vîteſſes eſt plus petite que celle de 1200 pieds par ſeconde, & que l'autre eſt plus grande; car pour lors la vîteſſe devient trois fois auſſi grande qu'elle ſeroit ſi elle étoit calculée ſuivant la loi de la maxime précédente.

La preuve de cette aſſertion eſt fondée ſur des expériences dont j'ai fait le rapport dans un autre endroit, & qui exigeroient une diſcuſſion trop longue, ſi je les plaçois ici. Ces obſervations ne conviennent point à la nature de ce Traité.

Je prouve encore dans la diſſertation où j'examine ces expériences, que la réſiſtance que l'air oppoſe à un boulet de fer de 12lb, & qui parcourt 25 pieds par ſeconde, eſt égale environ à une demi-once *avoir du poids*; d'où l'on pourra toujours aſſigner la réſiſtance que rencontre un boulet, ou une bombe qui ſe meut avec une vîteſſe connue. Par exemple, ſi un boulet de 12lb eſt mu avec une vîteſſe de 100 pieds par 1″,

(c'eſt-à-dire, de 4 fois 25 pieds) la réſiſtance ſera égale à 16 fois une demi-once, ou à une demi-livre ; & s'il avoit une vîteſſe de mille pieds par ſeconde, qui eſt 10 fois la derniere vîteſſe. La réſiſtance ſeroit 100 fois plus grande ou de 50lb ; mais ſi la vîteſſe eſt de 2000 pieds par 1″, ou le double de la derniere, alors la réſiſtance au lieu d'être ſeulement quadruple ou de 200lb, ſeroit trois fois quadruple, ou égale à 600lb.

Quelle que ſoit la groſſeur du boulet ou de la bombe, on pourra toujours connoître la réſiſtance qui leur eſt oppoſée, en cherchant le rapport de leur ſurface à celle d'un boulet de 12lb. Car les réſiſtances que rencontrent des corps mus avec des vîteſſes égales, ſont toujours entr'elles comme les ſurfaces de ces corps.

## MAXIME X.

C'eſt à la réſiſtance de l'air qu'on doit attribuer la différence qui ſe trouve entre les amplitudes de deux pieces de différents calibres, & tirées ſous le même angle avec des boulets convenables & des charges ordinaires. Le boulet de la

piece du plus grand calibre étant toujours porté à une plus grande diſtance que l'autre.

C'eſt un fait que doit avoir remarqué l'homme le moins verſé dans la pratique de l'Artillerie. Il eſt trop ſenſible pour échapper à un obſervateur, quelqu'inhabile qu'il ſoit. Ainſi, une piece de 24lb pointée ſous un angle de 8°, & chargée d'une quantité de poudre ordinaire, portera ſon boulet environ à un mille & demi, au lieu qu'une piece de 3lb de balles, dont le diametre n'eſt que la moitié de celui de l'autre, étant diſpoſée de la même maniere, ne fera parcourir à ſon boulet qu'un peu plus d'un mille. La même choſe arriveroit encore ſi l'angle d'élévation étoit plus grand, ſeulement la différence ſeroit plus grande. Or ce n'eſt pas que les vîteſſes des deux projectiles ſoient différentes, puiſque leurs charges étant proportionnelles aux calibres, ils ſont chaſſés du canon avec autant de promptitude l'un que l'autre; une différence auſſi conſidérable entre les volées ne peut donc être attribuée qu'à la différence des réſiſtances qui leur ſont op-

poſées. En effet le boulet de 24$^{lb}$ a quatre fois plus de ſurface que celui de 3$^{lb}$; mais il en a 8 fois la ſolidité. Enſorte que la réſiſtance qu'il rencontre n'eſt, par rapport à ſon poids, que la moitié de celle qu'éprouve le boulet de 3$^{lb}$. Ainſi il arrivera toujours que les réſiſtances que l'air oppoſe à deux globes différents, ſeront en raiſon inverſe des diametres de ces globes; & comme la grandeur des amplitudes dépend plutôt de la plus grande ou moindre réſiſtance que de la vîteſſe du boulet, il n'eſt pas étonnant qu'un boulet de 24$^{lb}$ ſoit porté beaucoup plus loin qu'un boulet de 3, puiſque la réſiſtance qu'il éprouve eſt plus petite de moitié, que celle qui retarde le mouvement de l'autre.

## *MAXIME XI.*

La plupart des projectiles militaires acquierent, au moment de la décharge, un mouvement de rotation autour de leur axe en frottant contre les parois intérieurs du canon; & au moyen de ce ſecond mouvement, ils frappent l'air de maniere, que la réſiſtance n'eſt plus directement oppoſée à leur mouvement;

mais devient oblique à leur direction, & la force de s'écarter du plan vertical dans lequel ils tendoient à se mouvoir, & c'est-là la cause de ces irrégularités dont nous avons parlé maxime IV.

Les boulets doivent en général acquérir un mouvement de rotation en passant à travers la piece; c'est un fait connu de tout le monde. Or l'expérience confirme tous les jours qu'un pareil mouvement combiné avec le mouvement progressif, rend l'action de la résistance oblique à la direction du corps mis en mouvement. En effet, si on fait tourner un pendule quelconque autour de la ligne qui le soutient, ce qui peut se faire de différentes manieres, le pendule s'écartera de la ligne dans laquelle il avoit commencé de faire ses vibrations, & la déclinaison se fera toujours du côté où le mouvement de rotation est opposé au mouvement progressif. On peut encore remarquer la même chose à l'égard des balles de paume, auxquelles par un coup oblique de la raquette on a communiqué ce mouvement de rotation autour de leur axe; & si l'on tire avec une balle de mousquet, on

trouvera qu'elle s'eſt ſenſiblement écartée de ſa direction même dans l'eſpace de 100 verges, ainſi que je l'ai déja prouvé fort au long dans l'un des Mémoires précédents; mais il eſt impoſſible, tant pour de pareilles balles, que pour les boulets de canons, de prévoir de quel côté ſe fera cette déclinaiſon, parce qu'il eſt impoſſible de déterminer quelle ſera la poſition de l'axe autour duquel le corps doit tourner. En effet, à cauſe de l'irrégularité du frottement des boulets au dedans des canons, il n'eſt pas ſûr que deux boulets en paſſant à travers la même piece acquierent un mouvement de rotation dans le même ſens; outre qu'il eſt encore vraiſemblable que l'axe de révolution change ſouvent de poſition pendant le mouvement du boulet. Delà on peut conclure en général que le mouvement de rotation oblige ſans ceſſe un projectile à s'écarter de ſa premiere direction; mais ſans qu'on puiſſe jamais déterminer d'avance, ni de quel côté, ni de combien il doit s'en écarter. En ſorte que quelque grand nombre d'expériences qu'on puiſſe faire, on ne trouvera

jamais, par rapport à cette déclinaison, rien de régulier ni de constan

## MAXIME XII.

De ce que la résistance qu'l'air oppose aux corps qui se meuvent avec une vîtesse de 1200 pieds par seconde, devient triple de ce qu'elle devroit être, suivant la loi qui s'observe dans les mouvements lents, il s'ensuit que quelque soit la volée d'un boulet qui se meut avec une pareille vîtesse, l'étendue de cette volée augmentera très-peu, quel que soit le nouveau degré de vîtesse qu'acquiert le boulet par l'impulsion d'une charge plus forte.

En effet, la résistance augmentant prodigieusement lorsque les vîtesses passent celle de 1200 pieds par 1″, quelque grande que soit celle du boulet dans le commencement de son mouvement, elle est bientôt réduite à celle de 1200 pieds. Ainsi, par exemple, j'ai trouvé qu'un boulet de 24lb tiré avec une vîtesse de 2000 pieds par seconde, n'en conservoit plus qu'une de 1200, lorsqu'il avoit parcouru un peu plus de 500 verges ; quoiqu'avec la premiere

vîteſſe il faut, ſous un angle de 45°, parcourir 15 milles de plus que n'en parcourt un autre boulet tiré avec la ſeconde, en ſuppoſant qu'ils ne fuſſent retardés ni l'un ni l'autre, par la réſiſtance de l'air; comme une vîteſſe de 200 pieds par ſeconde, eſt beaucoup plus grande que celle que reçoit un boulet de 24lb chaſſé par une charge égale aux deux tiers de ſon poids, & que pour lui communiquer une vîteſſe de 200 pieds, il ne faut tout au plus que la quatrieme partie de cette quantité de poudre, il paroît que, paſſé une charge égale en poids à la 5e. ou 6e. partie du boulet, toute augmentation de vîteſſe occaſionnée par l'addition d'une nouvelle quantité de poudre, eſt bientôt détruite par la réſiſtance de l'air; par conſéquent il eſt aiſé de concevoir que l'amplitude d'un boulet tiré ſous un angle un peu grand, & avec la charge la plus forte, ne doit pas être bien différente de celle d'un boulet qui ſeroit tiré ſeulement avec une quantité de bonne poudre égale à la 5e. ou 6e. partie de ſon poids. J'ai trouvé, par exemple, que l'amplitude d'un boulet de 24lb, tiré

avec 24lb de poudre, & ſous un angle de 10°, ne différoit pas de 500 verges de celle d'un autre boulet de même diametre, tiré avec la 5e. de cette charge, cette amplitude étant de 3000 verges; enſorte que les charges qui ſont dans le rapport de 5 à 24, les amplitudes ſeront ſeulement dans le rapport de 5 à 6, & cela ne vient point d'aucune différence dans la force de la poudre, mais ſeulement de la réſiſtance de l'air; ſi les charges étant encore dans ce même rapport, l'angle d'élévation étoit plus petit, les amplitudes approcheroient encore plus de l'égalité; pourvu que les amplitudes ſoient ſuppoſées régulieres, ou telles qu'elles ſeroient, ſi le boulet n'étoit point détourné de la direction par la preſſion de cette force oblique dont nous avons parlé dans la Maxime XI. Nous allons maintenant examiner quelles variations dans la direction du boulet, cette force eſt capable de produire.

## MAXIME XIV.

Si deux pieces de même calibre; mais de différentes longueurs, ſont ſucceſſivement tirées avec une même charge, & ſous un même angle d'élévation. Il ſe peut faire que les volées de la piece la plus courte ſoient plus étendues que celles de la plus longue.

La piece la plus courte que je connoiſſe, ayant 15 fois le diametre de ſon calibre de longueur, & la plus longue en ayant 60, les vîteſſes qu'elles communiqueront reſpectivement à leurs boulets ne différeront tout au plus que d'un quart de la plus grande; mais dans la maxime précédente nous avons vu que, lorſque la différence des vîteſſes étoit beaucoup plus conſidérable, le mouvement de rotation pouvoit, en accélérant le mouvement d'un boulet, & retardant celui de l'autre, rendre l'amplitude du boulet qui eſt mu avec le plus de vîteſſe plus courte, que celle du boulet qui alloit le plus lentement.

Delà on peut encore conclure que la même choſe pourroit arriver, ſi la piece la plus longue avoit une charge plus

forte que l'autre ; pourvu cependant que les charges ne paſſent pas les limites preſcrites dans les maximes précédentes. C'eſt-à-dire, que la charge de la piece la plus courte ne ſoit pas moins que la 4e. partie du poids du boulet, & que celle de la plus longue ne ſurpaſſe pas le poids entier de ce même boulet. J'ai ſouvent reconnu, dans les expériences que j'ai faites, la vérité de ces principes, particuliérement dans la comparaiſon que je fis de deux pieces, portant chacune 6lb de balles, mais dont l'une étoit des plus courtes, & avoit été fondue à Woolwich, l'autre étoit un canon ancien peſant quatre fois autant que le premier, & deux fois auſſi long. L'une & l'autre piece furent pointées ſous un angle de 11°, la premiere étant chargée avec 1lb ½ de poudre, & la ſeconde l'étant de 3lb, on trouva qu'au 4e. coup le boulet de la plus courte piece fut porté à la diſtance de 2432 verges, tandis que le premier boulet qui fut tiré de la piece la plus longue n'en parcourut que 2422, & que le 3e. n'eut qu'une amplitude tout au plus de 2070 verges.

## MAXIME XV.

Lorſqu'il s'agit de tirer des boulets à une grande diſtance, les forces des charges & la longueur des pieces ne peuvent alors être d'une grande utilité.

La vérité de cette maxime peut être facilement déduite des obſervations précédentes. Puiſque, ainſi que nous l'avons vu, quel que ſoit l'accroiſſement de la vîteſſe du boulet au ſortir du canon, ni ſon amplitude, ni ſa force ne ſeront conſidérablement augmentées.

## MAXIME XVI.

Si l'on tire ſur des Troupes avec des balles en grappes de raiſins, on trouvera que des charges de poudre plus petites que celles qu'on emploie ordinairement, produiront néanmoins de bien plus grands effets.

En effet ces ſortes de balles lorſqu'on les tire avec de fortes charges ſe diſperſent & s'écartent de leurs directions, au lieu que ſi la charge eſt plus petite, leur mouvement ſera plus égal, & elles reſteront plus ſerrées, ce qui cauſera beaucoup de ravage parmi les Troupes

ſur leſquelles on les tire ; car il faut ſe rappeller que, quelque foible que ſoit une charge, elle ſuffira toujours pour pouſſer un boulet ou des balles en grappes de raiſin avec aſſez de force pour porter des bleſſures mortelles.

## MAXIME XVII.

Les opérations principales où il eſt le plus avantageux d'employer de fortes charges, c'eſt lorſqu'il s'agit de détruire des parapets, de démonter des batteries couvertes de forts mortiers, ou de battre en breche. Car dans tous ces cas, ſi l'obſtacle contre lequel on dirige une piece de canon n'eſt pas fort éloigné, chaque accroiſſement de vîteſſe portera le boulet avec plus de force, & le fera pénétrer plus avant dans les corps ſolides qu'il rencontrera en ſon chemin.

Après ce qui a été dit ci-deſſus, ceci n'a pas beſoin de grande explication. J'obſerverai ſeulement que, ſi l'obſtacle contre lequel on dirige ſes batteries en eſt éloigné de 4 à 500 verges, pour lors une augmentation conſidérable dans la vîteſſe du boulet n'augmentera pas

ſenſiblement la force avec laquelle il va frapper le corps contre lequel il eſt tiré, ou ſi l'obſtacle étant près de la piece, le parapet eſt ſi mince qu'il puiſſe être aiſément renverſé par un boulet tiré avec une petite charge: en augmentant la quantité de poudre, bien loin de cauſer plus de dommage à l'ennemi, on ne feroit que diminuer l'effet du boulet. Car lorſqu'on tire un boulet contre un corps ſolide, il y fera beaucoup plus de fracas ſi ſon mouvement eſt preſque tout détruit par la réſiſtance du corps qu'il a traverſé, que s'il étoit encore mu avec une grande vîteſſe. On peut s'en convaincre aiſément en tirant contre un bout de planche ou contre les flancs d'un vaiſſeau, car ſi le boulet n'a préciſément que la vîteſſe qu'il lui faut pour paſſer au travers de ces corps, il en rompt ou fend ordinairement la derniere ſurface, & en emporte ſouvent avec lui de grands éclats, au lieu que s'il eſt mu avec tant de vîteſſe qu'il s'en conſerve encore beaucoup après les avoir traverſé, il n'y fera qu'un trou qui ſe refermera même en grande partie à cauſe de l'élaſticité du bois.

## MAXIME XVIII.

Dans toutes les opérations de l'Artillerie, on doit toujours employer les quantités de poudre abſolument néceſſaires préférablement à des plus grandes.

Tout ce qu'on peut ajouter à une charge au delà de ce qui ſuffit pour exécuter le projet qu'on médite, non-ſeulement eſt une dépenſe inutile, mais encore peut ſouvent cauſer des déſordres qu'on auroit pu s'épargner. La piece, par exemple, étant échauffée & forcée, ſon recul en eſt plus violent, ſon affût en ſouffre davantage, & devient plus ſujet à ſe déranger, ce qui rend le ſervice beaucoup plus lent ; ce n'eſt pas même le plus grand mal qui en puiſſe réſulter ; car il peut arriver, que ſi on augmente ſa vîteſſe, il produiſe moins d'effet qu'il n'auroit fait, ſi la charge eût été plus petite. Il ne paroît gueres qu'on puiſſe conteſter la vérité de cette maxime ; néanmoins pour ne laiſſer aucun doute ſur une queſtion ſi oppoſée à la pratique moderne, nous en allons donner une diſſertation un peu plus détaillée.

Les principaux emplois de l'Artillerie ſont de canoner des Troupes de loin ou de près, de tirer contre des vaiſſeaux, de ruiner des défenſes, ou de battre en breche. Or nous avons déja démontré que, lorſqu'il s'agit de tirer à une grande diſtance, les plus fortes charges ne portent gueres un boulet plus loin que les petites. Nous avons vu auſſi que s'il s'agiſſoit de tirer ſur des Troupes des balles en grappes de raiſin, les petites charges étoient celles qui avoient le plus d'effet; nous avons pareillement fait voir que, lorſqu'on tire ſur un vaiſſeau, un boulet qui n'auroit que préciſément la force qu'il lui faut pour en traverſer le côté, endommage beaucoup plus le vaiſſeau, & cauſe plus de ravages parmi l'équipage, qu'un boulet qui perceroit le vaiſſeau d'outre en outre. Le ſeul cas où les fortes charges peuvent être de quelque utilité, c'eſt lorſqu'il s'agit de battre en breche : encore il arrivera que ſi l'on eſt éloigné de 4 à 500 verges de l'ouvrage qu'on veut détruire, les boulets n'auront gueres plus de force que ſi l'on s'étoit ſervi ſimplement de petites charges ; & comme on eſt toujours

obligé de tirer de fort loin, ſur les parapets des places fortes, & ſur la maçonnerie qui ſoutient leur rampart, de maniere que la grande vîteſſe qu'on communique au boulet a le temps de ſe perdre, le parti le plus ſage ſera de ſe ſervir toujours des petites charges, & cela quelque proche que la batterie puiſſe être de la place, à cauſe des inconvénients dont l'exploſion d'une grande quantité de poudre eſt toujours accompagnée. Il ſe pourra bien faire que le boulet pénetre moins avant ; mais ce déſavantage ſera bien compenſé par la facilité & la promptitude du ſervice. Enſorte que tout bien conſidéré, l'uſage des petites charges l'emporte de beaucoup pour l'utilité ſur celui des plus fortes.

## *MAXIME XIX.*

Il ſuit delà que la juſte charge d'une piece n'eſt pas, (comme on le ſoutient communément) celle qui peut communiquer au boulet la plus grande vîteſſe poſſible, & elle n'eſt point déterminée par un rapport conſtant de ſon poids avec celui du boulet ; mais c'eſt la quantité de poudre qui eſt préciſément né-

ceſſaire pour remplir l'objet qu'on ſe propoſe, & au lieu d'être en raiſon du boulet, elle doit changer ſuivant les différentes opérations qu'il faut faire.

Je penſe que la vérité de cette maxime ne me ſera point conteſtée par ceux qui auront attentivement peſé tout ce que nous avons dit ci-deſſus ; mais comme on ſouhaiteroit peut-être que je déterminaſſe plus particuliérement les juſtes charges qui conviennent aux différentes pieces dans différentes circonſtances, je vais ſatisfaire à cette queſtion avec autant de clarté qu'il me ſera poſſible ; auparavant il faut obſerver que la poudre dont je parle dans tous mes Mémoires eſt compoſée ſuivant l'ordonnance, & eſt ſuppoſée en bon état : en ſecond lieu que le calibre ne doit pas être d'une grandeur extraordinaire, car il faudroit dans ce cas augmenter de quelque choſe les charges que nous allons aſſigner dans la maxime ſuivante.

## MAXIME XX.

La charge d'une piece de campagne ne doit jamais être que $\frac{1}{6}$ ou tout au plus $\frac{1}{5}$ du poids du boulet ; & celle de

toute piece deſtinée à battre en breche ne doit jamais en paſſer le $\frac{1}{3}$.

Car ſi une piece de campagne eſt chargée avec une quantité de poudre égale au $\frac{1}{6}$ du poids du boulet, elle communiquera à ce boulet une vîteſſe de 1200 pieds par 1″, pourvu que le calibre ſoit d'une grandeur moyenne. Ce qui ne s'obſerve pas dans les pieces nouvelles dont le calibre a toujours un grand diametre. C'eſt-là, ſuivant nos principes, la juſte charge d'une piece de campagne, & même ſi l'on s'en ſert pour tirer des balles en grappes de raiſin, cette charge ſera trop forte, & il en faudra prendre la moitié ſeulement. S'il s'agit de tirer contre un vaiſſeau, la charge ne doit pas paſſer la 4e. partie du poids du boulet. En effet j'ai éprouvé qu'un boulet de 18lb chaſſé par 3lb & $\frac{1}{2}$ de poudre ſeulement, pouvoit paſſer au travers d'un madrier de chêne bien ſain & épais de 36 pouces. Il ne nous reſte donc plus qu'à examiner quelle eſt la charge qu'il faut employer pour battre en breche, & ruiner des défenſes.

J'ai trouvé par pluſieurs expériences que j'ai faites, & par celles des autres,

qu'une charge égale au tiers de la peſanteur du boulet ſuffiſoit pour renverſer la meilleure maçonnerie dont les ramparts puiſſent être ſoutenus ; & quoique chaque coup ſéparément ait moins de force que ſi la charge étoit double de celle que nous venons d'aſſigner, ( & c'eſt cette charge dont les Canoniers recommandent l'uſage ) néanmoins le ſervice ſe fera avec plus de promptitude & de facilité, tellement qu'en un jour une batterie avec de pareilles charges produira de bien plus grands effets, que ſi on ſe fût ſervi de plus grandes quantités de poudre. Nous venons de fixer pour chaque piéce la juſte charge qu'il lui faut : examinons maintenant ſur quel fondement les Canoniers modernes ont avancé des principes directement oppoſés à ceux que nous venons d'établir.

## *MAXIME XXI.*

Quoique ce ſoit des Canoniers qui ſoutiennent des principes très-différents des nôtres, & quoiqu'on regarde ce qu'ils avancent comme fondé ſur l'expérience ; cependant leurs principes n'en ſont pas moins erronés, & cette préten-

due expérience les a trompés. Car de notre théorie ſur la réſiſtance, il ſuit que toute ſpéculation au ſujet de l'Artillerie ne peut rien avoir de ſolide, s'il n'eſt appuyé que ſur des remarques touchant les amplitudes des boulets qui ſont mus avec de grandes vîteſſes.

En effet, nous avons vu que lorſque les vîteſſes paſſent celle de 1200 pieds par 1″, il ne ſe trouve que de très-petites différences entre les amplitudes de deux boulets, quoique au commencement de leur mouvement il y en ait une conſidérable entre leurs vîteſſes; cette petite différence ne peut même être déterminée avec exactitude pour aucune piece, à cauſe de la force de déclinaiſon qui occaſionne dans les volées de bien plus grandes variations, que la différence des charges; qu'on ne s'imagine pas qu'en faiſant un grand nombre d'expériences, dont on prendroit un terme moyen, il ſoit poſſible de remédier à cet inconvénient. Les épreuves, lorſqu'elles ſont répétées, ſont ſujettes à de ſi grandes irrégularités, qu'en faiſant pluſieurs fois un même nombre d'expériences, les termes moyens qu'on auroit pris

chaque fois ſe trouveroient encore très-différents les uns des autres ; & ces inégalités dans les amplitudes, ſurpaſſeront ſouvent la différence qu'on cherche à déterminer. Pour donner un exemple de ce que nous venons d'avancer, nous inférerons ici une ſuite d'expériences faites à Woolwich en l'année 1736, avec des pieces de 24 tout nouvellement fondues, & toutes à peu près de même poids, mais de différentes longueurs : elles furent tirées avec des charges égales ſous un angle de $7° \frac{1}{4}$. On peut voir dans la Table ſuivante, & leurs longueurs, & les termes moyens entre les diſtances où elles porterent leurs boulets pendant trois différents jours.

| Longueur des pieces. | 1 *Juin.* Terme moyen entre cinq amplitudes. | 18 *Juin.* Terme moyen entre trois amplitudes. | 2 *Juillet.* Terme moyen entre trois amplitudes. |
|---|---|---|---|
| *Pieds.* | *Verges.* | *Verges.* | *Verges.* |
| 10 $\frac{1}{2}$ | 2486 | 2614 | 2406 |
| 10 | 2570 | 2532 | 2436 |
| 9 $\frac{1}{2}$ | 2633 | 2560 | 2500 |
| 9 | 2790 | 2494 | 2563 |
| 8 $\frac{1}{2}$ | 2586 | 2490 | 2466 |
| 8 | 2438 | 2473 | 2452 |

Il paroît en examinant ces expériences que les termes moyens entre les amplitudes d'une même piece varioient tous

les jours, non pas pour chacune de la même maniere, puiſque pour l'une ils devenoient plus grands, & pour l'autre plus petits à différents jours. Cette différence entre les termes moyens pour le canon de 9 pieds ſe monte juſqu'à 296 verges, & pour les autres pieces, excepté la derniere, elle ne fut jamais au-deſſous de 120 verges. Or, ſuivant nos principes, ſi le boulet n'étoit point détourné dans ſon mouvement par la force de déclinaiſon, la différence que peut occaſionner entre les amplitudes les différentes longueurs des pieces, ne paſſeroit pas 70 verges; par conſéquent, quelque grand nombre d'expériences qu'on faſſe, il ſera toujours impoſſible de la déterminer, puiſque les termes moyens entre les amplitudes d'une ſeule & même piece, different quatre fois plus entr'elles que les amplitudes de la plus courte & de la plus longue piece ne devroient différer.

Il étoit vraiſemblable que la ſimple vue des amplitudes, telles qu'elles ſe préſentent ici dans la Table, ſuffiroit pour prouver l'impoſſibilité de déduire aucun principe certain d'une ſuite d'expériences, qui s'accordoient ſi peu les unes avec

les autres ; mais telle étoit la force du préjugé, qu'on a conclu delà que les pieces de 9 pieds & demi de long, portoient leurs boulets plus loin que les autres ; que c'étoit par conſéquent la juſte longueur que devoit avoir une piece de 24lb, & que toute piece de ce calibre, ou plus longue ou plus courte, ne pourroit communiquer à ſon boulet autant de vîteſſe. Il eſt vrai que ces pieces ayant été fondues pour déterminer quelle devoit être la longueur des canons, il n'eût pas été de la dignité des perſonnes qui faiſoient cet examen, d'avouer ſincérement après tant d'appareil, qu'il étoit impoſſible de rien découvrir, par la méthode qu'ils avoient ſuivis.

Trois années après on eſſaya en France de déterminer, par le même moyen, les charges les plus convenables pour chaque piece ; en tirant une même piece toujours ſous un même angle, mais avec des charges différentes, on a prétendu avoir trouvé que, pour la plupart des pieces, la charge qui pouvoit communiquer au boulet la plus grande vîteſſe étoit celle qui étoit égale au tiers du poids de ce boulet. J'ai vu la relation

en manuſcrit, des expériences faites à ce ſujet ; mais l'auteur n'y rapporte que les amplitudes moyennes qu'il avoit trouvées, & il nous dit en même temps, qu'il avoit commencé par rejetter toutes celles qui lui avoient paru trop irrégulieres, ſans nous dire ce que c'étoit que ces amplitudes irrégulieres. C'eſt par des méthodes ſemblables qu'on a accrédité toutes ces erreurs que nous avons juſqu'à préſent combattues ; en effet, les expériences, lorſqu'elles ſont répétées, different toujours de beaucoup entr'elles ; il n'eſt donc pas ſurprenant qu'un Canonier prévenu en faveur de ſon hypotheſe en ait trouvé quelques-unes pour l'appuyer. Dans un grand nombre d'amplitudes des plus variées, quoique de la même piece, il étoit très-facile en rejettant, ſous prétexte d'irrégularité, celles qui étoient incompatibles avec leurs opinions, d'en rencontrer pluſieurs qui puiſſent s'accorder avec une ſuppoſition quelconque concernant l'Artillerie.

On me dira peut-être que dans d'autres Traités j'ai comparé les amplitudes actuelles avec les réſultats de ma théorie, & que par-là j'ai prétendu confirmer

firmer la vérité de mes principes ; mais à cela je réponds que j'ai commencé par établir ma théorie ſur des principes plus certains que ceux des auteurs qui ont écrit ſur le même ſujet ; & que ſi j'ai examiné les amplitudes des projectiles qui ſont mus avec de grandes vîteſſes, ce n'a été que pour démontrer, qu'elles s'accordent mieux avec ma théorie, qu'elles ne s'accordent entr'elles ; quoique les amplitudes moyennes que j'ai trouvées, ne ſoient pas aſſez exactes pour prouver la différence qu'il y a entre des vîteſſes de deux boulets, chaſſés par des charges différentes, ou à travers des pieces de différentes longueurs, néanmoins elles le ſont aſſez pour prouver les effets prodigieux de la réſiſtance de l'air, & pour décider à peu près ſi nous avons bien ou mal déterminé la loi & la quantité de cette réſiſtance.

D'ailleurs, comme les auteurs qui ont écrit ſur l'Artillerie n'ont jamais, dans la recherche des longueurs & des charges convenables, employés pour prouver leurs hypotheſes d'autres méthodes que la comparaiſon des amplitudes ſous un même angle d'élévation, il eſt clair que lorſ-

que la vîteſſe du projectile étoit un peu conſidérable, il n'étoit pas poſſible de rien déterminer à ce ſujet de certain & de juſte. Puiſque lorſqu'il s'agit de grandes vîteſſes, les irrégularités des expériences qu'on répete,& même des termes moyens que l'on prend, ſurpaſſent de beaucoup cette différence entre les amplitudes qu'on prétend déterminer par cette méthode. Il n'eſt donc pas étonnant qu'on ait pu,en choiſiſſant les expériences qu'on vouloit, en trouver aſſez pour confirmer des aſſertions, quelques différentes qu'elles ſoient, lors même qu'elles ſeroient contradictoires; il n'eſt pas étonnant, dis-je, qu'on ait pu par un pareil moyen ſoutenir les opinions les plus erronées, & établir dans l'eſprit de ceux qui n'en connoiſſoient pas l'illuſion, grand nombre de préjugés, dont ſe ſont laiſſés prévenir la plupart des Canoniers modernes.

Il eſt bien malheureux que ceux qui ſe ſont tant donné de peine pour confirmer, par la comparaiſon des amplitudes, une vérité qui ne pouvoit ſe prouver par ce moyen, aient négligée de comparer ces mêmes amplitudes avec la théorie reçue

concernant les projectiles ; s'ils l'avoient fait, ils auroient ſûrement reconnu combien un boulet dans ſon mouvement s'éloigne de la courbe parabolique, & combien eſt prodigieuſe la réſiſtance de l'air. Car quelque peu d'exactitude qu'on apporta dans ces expériences, elles auroient été toujours ſuffiſantes pour démontrer la réalité de cette force extraordinaire, & les grandes erreurs où conduit la théorie communément reçue. En effet, l'amplitude d'un boulet de 24℔ tiré ſous un angle de 45°, ne ſe trouve plus grande que celle du même boulet tiré ſous un angle plus petit, que d'un tiers ſeulement de ce dont elle devroit la ſurpaſſer dans l'hypotheſe du mouvement parabolique.

Après avoir prouvé, comme je viens de le faire, l'inſuffiſance de la méthode dont ſe ſont ſervi les Canoniers modernes, il s'agit d'en indiquer une autre, par le moyen de laquelle on puiſſe déterminer plus ſûrement les augmentations de vîteſſes, occaſionnées par les augmentations des charges. Cette méthode (à laquelle j'ai ſouvent appellé dans le cours de ces maximes) conſiſte à trouver les

différentes profondeurs, où un boulet peut s'enfoncer dans un ſolide d'une texture uniforme. Si on vouloit déterminer encore avec plus d'exactitude la vîteſſe du projectile dans tous les points de la ligne qu'il parcourt, on pourroit ſe ſervir de la méthode que j'ai expliquée fort au long dans un autre Traité ; mais pour l'appliquer à des pieces d'un grand calibre, il faudroit un appareil trop coûteux; ainſi nous ne traiterons point ce ſujet avec une exactitude, & une préciſion géométrique ; nous nous contenterons de ſuivre le procédé le plus commode & le plus expéditif.

## MAXIME XXII.

On pourra en examinant les profondeurs où pénetrent dans un ſolide une balle ou un boulet, déterminer les vîteſſes de ces projectiles avec plus de certitude & de ſûreté, que ſi l'on ſe contentoit d'examiner leurs amplitudes. En effet, à une vélocité double, répond une profondeur quadruple, & à une vélocité triple, une profondeur neuf fois plus grande ; enſorte que les profondeurs où pénetrent ces boulets varient dans un plus

grand rapport que les vîteſſes mêmes.

J'ai ſouvent éprouvé, par exemple, qu'une balle de fer de $\frac{1}{4}$ de pouce de diametre, tirée contre un madrier de chêne, a pénétré avec différentes vîteſſes à différentes profondeurs depuis $\frac{1}{2}$ pouce juſqu'à 10, & ayant examiné & comparé les vîteſſes reſpectives, avec les profondeurs correſpondantes où les boulets ont pénétré, on a trouvé qu'elles ſuivoient à peu près la loi indiquée ci-deſſus, & cela ſe trouve vrai pour une balle d'une groſſeur quelconque. Car un boulet de 18lb avec une vîteſſe de 400 pieds par ſeconde, pénétra dans un madrier de chêne bien ſec, à une profondeur de trois pouces & demi, & avec trois fois cette vîteſſe, il pénétra à 34 pouces, dans le même bois.

Cette loi s'obſerve auſſi également, & pour les grandes & pour les petites vîteſſes. Du moins l'ai-je trouvé pour un boulet qui avoit une vîteſſe de 2400 pieds par 1″. Nous avons déja expliqué les cauſes de ce rapport entre la vîteſſe d'un boulet & la profondeur où il pénetre; mais c'eſt une ſpéculation qui n'eſt point eſſentielle à notre ſujet; il ſuffit

d'obſerver que cette loi eſt confirmée par un grand nombre d'expériences. Cependant afin d'applanir toutes les difficultés, qui pourroient embarraſſer dans la pratique, j'obſerverai ſeulement que la réſiſtance qu'éprouve le boulet en pénétrant dans un corps ſolide, ne dépend pas de ſa vîteſſe, (comme il arrive pour la réſiſtance de l'air); mais que celle que le bois lui oppoſe eſt toujours à peu près égale, quelle que ſoit la vîteſſe de ce boulet; & par conſéquent la réſiſtance n'augmentant point avec la vîteſſe, il eſt aiſé de concevoir comme les profondeurs où les boulets pénetrent doivent être dans un plus grand rapport que les vîteſſes.

## MAXIME XXIII.

Il ſuit delà que toutes les fois qu'on voudra déterminer le rapport de différentes vîteſſes que peuvent communiquer à un même boulet, des charges plus ou moins fortes, & des pieces plus ou moins longues, la maniere la plus facile d'y parvenir, c'eſt d'éprouver, à quelle profondeur pénetre chaque boulet, tiré avec une charge déterminée, contre

un ſolide d'une texture uniforme placé à une petite diſtance de la bouche de la piece, puiſqu'il eſt évident que le boulet qui pénetre le plus avant eſt celui qui a la plus grande vîteſſe.

Il n'eſt pas difficile de trouver des corps propres aux expériences de cette nature, on peut ſe ſervir d'un madrier, d'une maſſe de terre ou d'argile : on demande ſeulement que ce corps ſoit d'une texture uniforme, d'une matiere élaſtique, & fort peu éloignée de la bouche de la piece, afin que la réſiſtance de l'air, n'affoibliſſe pas la vîteſſe qu'on a communiquée au boulet.

Au ſurplus, quoique je ſois perſuadé qu'il eſt toujours poſſible de réſoudre cette queſtion par ces ſortes d'expériences, il ſera néanmoins utile de faire des épreuves, telles qu'il ſe puiſſe trouver entre leurs réſultats, des différences conſidérables. En effet, comme il ſe rencontrera toujours quelque inégalité dans la texture du ſolide dans lequel les balles s'enfoncent, & qu'il doit conſéquemment arriver que les mêmes expériences étant répétées, different entr'elles de quelque choſe, il ſera toujours

très-prudent dans les expériences qu'on fera, de faire enſorte que les différences entre les profondeurs où les boulets s'enfoncent, ſoient plus conſidérables que ces inégalités accidentelles.

Juſqu'ici nous n'avons examiné que les profondeurs où pénetrent des boulets de même diametre, mus avec des vîteſſes différentes; mais ſi au contraire les boulets étoient d'inégales groſſeurs, & les vîteſſes égales, on trouveroit que c'eſt le plus gros qui pénetre le plus avant. Enſorte qu'un boulet de 5 pouces de diametre, par exemple, s'enfonceroit dans le ſolide à plus de profondeur qu'un autre dont le diametre ſeroit de $\frac{3}{4}$ de pouce ſeulement : on en comprendra en quelque ſorte la raiſon, ſi l'on fait attention à ce que nous avons dit dans notre 10e. Maxime.

Dans toutes ces ſortes d'expériences, nous avons toujours ſuppoſé que le boulet étoit de fer; car s'il étoit d'un métal plus foible & plus mol, il changeroit de figure ou ſe romproit en frappant le corps ſolide contre lequel on tire, & pour lors la profondeur où les balles pénétreroient ne ſuivroit point la

loi établie ci-deſſus, mais varieroit ſuivant la différente forme que le boulet auroit priſe.

## MAXIME XXIV.

Il ſuit de nos maximes & obſervations précédentes que la théorie de l'Artillerie a été juſqu'à préſent fort imparfaite ; que ſes principes ſont faux,& ſes preuves inconſéquentes, & enfin que la pratique où l'on s'eſt conformé aux regles d'une pareille théorie, conduit en bien des points aux plus grandes erreurs.

En effet, ſi nos maximes précédentes ſont fondées ſur des principes inconteſtables, il eſt clair que la théorie commune qui, preſque dans tout, leur eſt directement oppoſée, n'eſt remplie que d'opinions fauſſes & erronées. Par exemple, s'il eſt vrai que la réſiſtance de l'air ſoit ſi conſidérable, qu'il exiſte une force de déclinaiſon telle que nous l'avons décrite, & ſi enfin nous avons bien fait l'énumération de toutes les irrégularités auxquelles ſont ſujettes les amplitudes des boulets, & des ſinguliers incidents qui s'enſuivent, il eſt évident qu'une théorie qui refuſe d'admettre toutes ces vérités ne peut être

elle même fondée que ſur l'erreur.

D'un autre côté, s'il eſt, ainſi que nous l'avons prouvé, néceſſaire de varier les charges ſuivant les différentes opérations qu'il faut faire, il faut convenir que les Canoniers qui ont aſſigné généralement pour toute piece, & pour tous les cas, une certaine charge déterminée & qui eſt avec le poids du boulet dans un rapport de beaucoup trop grand, étoient peu verſés dans leur art; la pratique dans ces parties, ſe trouve imparfaite, tant par rapport à l'économie, qu'à la commodité & la promptitude du ſervice.

Quoique le but de cet eſſai, ſoit ſeulement de faire quelques obſervations ſur la fauſſeté des principes qui ont juſqu'à préſent prévalus, & que pour cette raiſon nous éviterons d'inſiſter ſur bien d'autres mépriſes que l'on rencontre dans la pratique moderne, parce qu'elles viennent plutôt des erreurs de la partie méchanique que d'aucune fauſſe ſpéculation; cependant je ne puis m'empêcher de faire obſerver, que par les méthodes qu'on ſuit pour former des éleves à l'Artillerie, on ne les inſtruit point aſſez de ce qui concerne la pratique, quoique ce

ſoit là ce qu'il y a de plus eſſentiel.

Je voudrois qu'au lieu de l'uſage puérile de tirer conſtamment avec une même charge contre un ou pluſieurs buts placés toujours à la même diſtance, on en introduisît un autre plus étendu, ſavoir, d'examiner les amplitudes & déclinaiſons des boulets, les profondeurs auxquelles ils pénetrent lorſqu'ils ſont tirés avec différentes charges, ſous différents angles & à différentes diſtances; de comparer enſuite ces réſultats avec la théorie que nous avons établie ci-deſſus. Comme ces expériences, ainſi que nous nous en flattons, confirmeroient nos principes, & les feroient mieux comprendre, le Canonier pourroit devenir véritablement habile, & ſauroit ſur le champ déterminer les charges qu'il doit employer, & les angles ſous leſquels la piece doit être pointée ſuivant les occaſions où il ſe trouveroit. Il eſt bien temps enfin qu'un art auſſi intéreſſant ſoit perfectionné; car il eſt ſurprenant de voir que tandis que les autres branches de la méchanique, ont été éclaircies & traitées avec tant de ſuccès par des perſonnes dont le travail n'avoit point d'autre motif que

l'impulſion naturelle de leur génie; il eſt ſurprenant, dis-je, que les principes d'un art d'où dépend le ſuccès de la plupart des entrepriſes militaires, & par conſéquent le ſort des nations, ſoient reſtés ſi long-temps obſcurcis par les erreurs les plus groſſieres, & qui ont néanmoins prévalues depuis plus de deux ſiecles, ou par les rafinements encore plus choquants & plus faux de nos théoriſtes modernes; & cela quoiqu'on ait fait pour le perfectionner des dépenſes immenſes, & qu'un grand nombre de perſonnes aient reçu de conſidérables gratifications, comme la récompenſe de leur prétendu ſavoir & habileté en ce genre. Il faut avouer cependant que l'imperfection actuelle de l'Artillerie ne doit pas être imputée toute entiere à la négligence, & au peu d'attention de ceux qui ont fait des expériences; car avant que nous euſſions, il y a quelques années, publié nos nouveaux principes, il étoit impoſſible, quelque diligent que fût l'obſervateur, de démêler la vérité au travers de ces difficultés, & de cette confuſion dont étoient toujours accompagnées les expériences qu'on répétoit un certain nombre de

fois. La prodigieuſe réſiſtance de l'air lorſque la vîteſſe eſt conſidérable, & la force de déclinaiſon que nous avons découvert les premiers, peuvent ſeules expliquer dans les amplitudes des projectiles ces circonſtances étonnantes qui, ſans la connoiſſance de ces principes, ſembleroient tenir du miracle ; mais nous craignons de ne nous être déja que trop étendus ſur ce ſujet, & nous finiſſons là ces maximes, où nous avons tâché de mettre nos principes à la portée de tout le monde.

# PROJET

## *POUR PERFECTIONNER*

## LA MARINE ANGLOISE,

*Où l'on propoſe de ſubſtituer à tous les canons depuis ceux de 28 lb de balles, des nouvelles pieces de même poids ; mais d'un plus grand calibre.*

Imprimé pour la premiere fois en 1747.

# PREFACE.

# PRÉFACE.

*J'Avois déja formé ce projet il y a près de deux ans, enſuite de quelques expériences & obſervations que j'avois faites depuis long-temps ; & comme c'eſt la coutume des hommes de ſuppoſer, lorſqu'ils ont une profeſſion, que perſonne ne peut y être verſé à moins qu'il ne faſſe de cette étude même la principale occupation de ſa vie ; lorſque je publiai ce Mémoire, je m'attendois qu'on ne le regarderoit que comme les rêveries d'un auteur réellement au fait du ſujet qu'il avoit entrepris de traiter ; & il ne m'eût pas même été poſſible de diſſiper ce préjugé, quelques preuves que j'euſſe apporté de mon attention, & de mon induſtrie lorſqu'il s'agiſſoit de vérifier les principes ſur leſquels je fondois mes raiſonnements ; mais Mr. George Anſon, Ecuyer, Vice-Amiral du vaiſſeau le Bleu, & l'un des principaux Officiers de*

*l'Amirauté, m'ayant fait dernièrement la grace de me remettre un manuſcrit François, pris à bord du vaiſſeau de guerre le Mars, j'ai trouvé qu'on y rapportoit un grand nombre d'expériences qui s'accordoient aſſez bien avec les principes établis dans le Mémoire ſuivant; on y confirmoit même la nouvelle d'une réforme dans l'Artillerie Françoiſe, ſemblable à peu près à celle que nous propoſons aujourd'hui. J'eſpere donc que l'autorité du manuſcrit François pourra me mettre à l'abri des critiques ameres auxquelles je ſerois en butte; comme les particularités que renferment ce Mémoire me ſemblent dignes de l'attention du Public, j'ai voulu courir les riſques de le mettre au jour, & j'ai eu ſoin, afin de les rendre plus intéreſſants, d'y joindre dans des notes les articles du manuſcrit François, qui m'ont paru propres à confirmer ce que j'avançois; réſervant pour un autre temps d'entrer dans un plus grand détail ſur les expériences Françoiſes, & les conſéquences qu'on en peut tirer.*

# PROJET

## POUR LA PERFECTION

### *DE LA MARINE ANGLOISE.*

L'AVANTAGE des canons d'un gros calibre, ſur ceux qui n'en ont qu'un petit eſt ſi généralement reconnu, qu'on pourroit ſe diſpenſer de le prouver ; mais comme il peut être néceſſaire dans la ſuite, de recourir aux principes ſur leſquels eſt fondé cet avantage, on permettra à l'auteur, afin de prévenir toutes les objections qu'on pourroit lui faire, d'entrer dans un certain d'étail touchant les circonſtances où les gros boulets ſont préférables à ceux d'un plus petit diametre, & donner les raiſons de cette préférence. Il ſe flatte par le grand nombre d'expériences qu'il a faites, de pouvoir mieux rem-

plir cet objet, qu'on ne le ſauroit faire, par des obſervations peu exactes de la pratique ordinaire.

1°. Si le canon eſt tiré à une grande diſtance, la réſiſtance que l'air oppoſe aux boulets chaſſés par une quantité de poudre ordinaire, eſt ſi conſidérable, qu'elle influe ſur la longueur de l'amplitude, plus même que la vîteſſe que le boulet acquiert au ſortir de la piece : or à proportion de leurs poids les gros boulets trouvent dans l'air moins de réſiſtance que les petits ; & l'amplitude d'un gros boulet eſt avec celle d'un plus petit, l'un & l'autre étant tiré avec des charges qui ſoient avec leurs poids, dans le même rapport, à-peu-près dans la raiſon directe de leur diametre. Enſorte, qu'un boulet de 32lb ayant à peu près 6 pouces de diametre, & celui d'un boulet de 9lb n'étant que de 4, le premier boulet ſera porté preſque deux fois plus loin que l'autre ſi les deux pieces ſont pointées ſous un angle où l'amplitude ſoit la plus grande poſſible.

Cet avantage qu'a un gros boulet ſur un petit, ne pourroit être aiſément compenſé, quand même on augmenteroit

par le moyen d'une plus forte charge la vîteſſe du petit boulet. En effet, o pneut bien faire enſorte que la vîteſſe du petit boulet au ſortir de la piece ſoit conſidérablement plus grande que celle de l'autre; mais, comme nous l'avons déja vu, ſon amplitude n'en ſera pas pour cela beaucoup plus étendue: ſa vîteſſe étant bientôt diminuée par l'effort de la réſiſtance, qui dans ce cas augmente ſi prodigieuſement; par exemple, quoiqu'un boulet tiré avec une charge égale aux deux tiers de ſon poids, ſoit mu avec beaucoup plus de vîteſſe qu'un autre boulet de même diametre pouſſé par la moitié de cette charge ſeulement. Cependant leurs amplitudes comparées enſemble ne different pas ſenſiblement l'une de l'autre; car cette différence ne ſera pas plus conſidérable que celle qui ſe trouve entre les deux amplitudes d'un même boulet, tiré de la même piece, avec la même charge, & ſous un même angle d'élévation (*).

(*) Cette aſſertion, quelque étrange qu'elle puiſſe paroître au premier abord, eſt néanmoins incontestablement établie par les expériences

Mais l'avantage d'être porté à une plus grande diſtance, n'eſt peut-être pas le plus grand que les gros boulets aient ſur les plus petits, d'autant mieux que l'irrégularité des amplitudes eſt ſi grande, ſur-tout ſur mer, que l'uſage des boulets peſant, a été défendu par les Commandants les plus habiles, comme ne ſervant qu'à conſumer une plus grande quantité de munition; mais ſi les boulets fort peſants ſont préférables aux autres, c'eſt ſur-tout parce que, toutes choſes égales d'ailleurs, ils ſont dans les ſolides

---

rapportées dans le manuſcrit François dont j'ai parlé dans ma Préface. On y trouve qu'une piece de 24 ayant été élevée à un angle de 5° & chargée ſucceſſivement avec 8, 9, 10, 11, 12, 14, 16, 18, & 20lb de poudre, l'amplitude moyenne à 8lb de poudre avoit été de 840 toiſes, & à 20lb de 970 : or la différence qui ſe trouve entre ces deux nombres n'eſt pas ſi grande que celle qui ſe rencontre entre les deux amplitudes d'une même piece avec des charges égales. J'ajouterai de plus que les deux amplitudes que nous venons de rapporter, s'accordent beaucoup avec les calculs de notre théorie, de même que toutes les autres expériences qui ſe trouvent conformes à nos principes ſur la force de la poudre, & la réſiſtance de l'air.

qu'ils percent des trous qui ſont dans un plus grand rapport que leurs poids : c'eſt-à-dire, par exemple, qu'un boulet de 24ℓb feroit dans un mur, un rempart ou un madrier, un trou plus de 8 fois auſſi grand que celui que feroit un boulet de 3ℓb ; ſon diametre étant double de celui de l'autre, il fera dans le ſolide un trou d'une ouverture quatre fois auſſi grande que celui que feroit un boulet de 3ℓb, un petit trou ſe refermant plus aiſément qu'un grand, à cauſe de l'élaſticité du corps ſolide contre lequel on le tire, & de plus il pénétrera deux fois plus avant. Par conſéquent, on pourra avec un gros boulet, percer tout entier le mur le plus ſolide, qui auroit réſiſté à un boulet de plus petit diametre, & dans les vaiſſeaux, les pieces les plus fortes, & les plus épaiſſes, les mâts les plus robuſtes, ſeront briſés & fracaſſés, tandis qu'un grand nombre de petits boulets ne les auroient preſque point endommagés.

On peut encore ajouter qu'une ſeule des groſſes pieces, en ce qu'elles peuvent porter des boulets en grappes de raiſin, ou des balles de plomb, incommodera l'ennemi beaucoup plus que 10 petites pieces à la fois.

Tels ſont les principaux avantages que nous pouvons retirer des groſſes pieces ; & il n'eſt pas étonnant que ceux à qui on a confié le ſoin de la marine Britannique aient toujours tâché d'armer tous les vaiſſeaux avec des canons auſſi gros que la ſûreté du bâtiment pouvoit le permettre. Depuis près d'un ſiecle on en a reconnu l'utilité, & on a diminué le poids autant qu'il a été poſſible, ce qui a mis les mêmes vaiſſeaux en état de porter des pieces d'un bien plus grand calibre que celles d'autrefois. Derniérement on a changé les canons de 6lb de balles dont étoient armés de petits bâtiments en d'autres pieces auſſi légeres, & de 9lb de balles, ce qui a conſidérablement augmenté la force de ces vaiſſeaux.

Après avoir prouvé de quelle importance il eſt d'armer tous les vaiſſeaux avec des canons auſſi gros qu'il ſera poſſible, eu égard à la ſûreté du bâtiment, il ne nous reſte plus qu'à indiquer de quelle maniere ſe doit faire ce changement dans la fabrique des canons, depuis les pieces de 24lb juſqu'à celles du plus petit calibre, & de donner

une méthode par laquelle on puiſſe ſubſtituer aux pieces de 18, d'autres canons de même poids ou même plus légers, & d'un plus grand calibre ; mais il eſt néceſſaire de faire auparavant les obſervations ſuivantes.

Il faut d'abord remarquer que la force & la grandeur du vaiſſeau doivent déterminer l'eſpece, & le poids des canons dont on ſe propoſe de l'armer ; & quant au poids que doit avoir chaque piece en particulier, ſi on connoît la charge & l'effort du boulet : on pourra facilement l'aſſigner, en faiſant attention, qu'il ſuffit que la piece ne ſoit point en danger de crever, qu'elle ne s'échauffe point trop par de fréquentes décharges, & enfin que le recul ne ſoit pas trop conſidérable ; ſi toutes ces conditions ſont bien remplies, & qu'on ait employé la quantité de métal préciſément néceſſaire, tout ce qu'on pourroit y ajouter, non-ſeulement ſeroit inutile, mais encore il en pourroit réſulter de grands déſavantages.

Or, quelles doivent être les dimenſions d'une piece ? quelle doit être la quantité de métal dont on les compoſe ?

nous pouvons l'apprendre de la pratique aujourd'hui en uſage dans la fabrique des pieces de 32 qui ſont les plus gros canons dont on ſe ſerve. Si l'auteur eſt bien informé on y fait entrer toujours 5200 à 5300℔ de matiere, c'eſt-à-dire, qu'à chaque livre du boulet répondent à peu près 266℔ de métal. Delà l'auteur conclut que ſi toutes les autres pieces ſont fondues ſuivant les mêmes proportions que celles de 32, elles ſeront pareillement à l'abri de tout accident, & auront préciſément ce qu'il faut pour être auſſi utile qu'elles le peuvent être.

Il ſe fonde ſur ces deux principes : 1°. que la force du fer ou de tout autre métal eſt proportionnelle à ſa quantité; par exemple, que ſi une piece de métal eſt du double plus épaiſſe qu'une autre, elle aura deux fois autant de force; & il croit que ce principe ne lui ſera gueres conteſté : 2°. que la force de la poudre enfermée dans un eſpace qu'elle remplit n'eſt pas exactement en raiſon de ſa quantité; mais que celle d'une plus petite quantité, comparée avec celle d'une plus grande, eſt plus

petite qu'elle ne ſeroit ſi elle ſuivoit ce rapport. Ainſi la force d'une livre de poudre dans pareilles circonſtances ſera plus petite que la moitié de la force de 2lb. C'eſt un principe que l'auteur a trouvé confirmé par un grand nombre d'expériences les plus variées, & il penſe qu'il ſe trouvera conforme à toutes les obſervations qu'on a faites ou qu'on fera à ce ſujet.

D'après ces deux principes il eſpere qu'on lui accordera, que ſi deux pieces d'inégales groſſeurs, faites de maniere que leurs dimenſions ſoient proportionnelles au diametre de leurs boulets, & leurs poids par conſéquent au poids de ces mêmes boulets, ſont chargées avec des quantités de poudre qui leur ſoient auſſi proportionnelles, la plus groſſe piece éprouvera de la part de ſa charge un plus grand effort que la plus petite, elle s'échauffera davantage, & aura un plus grand recul.

Si nous ſommes donc aſſurés qu'une piece de 32lb, fabriquée de la maniere que nous avons dit ci-deſſus, ait aſſez de force & d'épaiſſeur pour toutes les opérations de la marine, à plus forte

raiſon devons-nous ſuppoſer, que ſi toutes les autres pieces plus petites étoient formées ſuivant les mêmes proportions, elles auroient une force & un poids ſuffiſant, & ſeroient à bord d'un vaiſſeau, d'une auſſi grande utilité que ces canons de même calibre, & dont le poids eſt énorme.

Le projet que l'auteur propoſe pour perfectionner la Marine, ſe réduit donc à ce que tous les canons ſoient fondus ſur le modele des pieces de 32, c'eſt-à-dire, de maniere que leur poids ſoit dans le même rapport que celui du boulet, ou que pour chaque livre du boulet il entre dans la compoſition du canon 266℔ de métal.

Les avantages qu'on en peut retirer paroîtront par la Table ſuivante, où l'on compare le poids actuel de nos canons avec celui qu'ils auroient ſuivant cette nouvelle méthode.

| Pieces de | Poids actuels exprimés en quintaux. | Poids qu'elles auroient dans notre hypothese. |
|---|---|---|
| 24 | 48 à 46 | 40 |
| 18 | 41 à 39 | 30 |
| 12 | 34 à 31 | 20 |
| 9 | 29 à 26 | 15 |
| 6 | 24 à 18 | 10 |

L'on pourroit donc par ce moyen rendre une piece de 24 plus légere de 600 ou 800 livres. Deſorte qu'on pourra changer des pieces de petit calibre, en de nouveaux canons qui en aient un plus grand, quoiqu'ils ſoient de même poids; ſur-tout ſi on fait attention que les différents poids que nous venons d'aſſigner pour les différents canons, ſont plus grands, qu'ils ne ſeroient s'ils étoient bien proportionnés à celui des pieces de 32. Ainſi on peut ſans rien riſquer rabattre 200 à 300ᵗᵇ du poids que nous avons aſſigné pour une piece de 18.

Voici le rapport, ſuivant lequel l'auteur propoſe de fondre les canons.

| Le boulet étant de | Le poids de la piece en quintaux eſt de | Le boulet étant de | Il ſeroit, ſuivant notre méthode, de |
|---|---|---|---|
| 6 | 24 à 18 | 12 | 20 |
| 9 | 29 à 26 | 18 | 28 |
| 12 | 34 à 31 | 18 | 28 |
| 18 | 41 à 39 | 24 | 40 |

Les canons portant un boulet de 9$^{lb}$ de balle, qui ont été derniérement fondus, ſe trouvant plus légers qu'ils ne le ſont dans notre Table, on pourroit les changer en des pieces de 12, ce qui en augmenteroit de beaucoup la force. Joignez à cela que ces pieces de 12 ſeroient beaucoup moins peſantes que les pieces dont nous nous ſervons aujourd'hui. L'auteur ne ſait pas bien préciſément quel eſt le poids actuel des pieces de 3$^{lb}$ de balles; mais il ne doute pas qu'elles ne ſoient plus peſantes que celles de 6 qui ſeroient conformes à ſa nouvelle méthode, enſorte que celles-ci pourroient être ſubſtituées aux premieres.

On va faire certainement bien d'objections contre ce projet, mais tout ce qu'on pourroit dire là-deſſus, concerne auſſi-bien les pieces de 32 que les autres, & on a reconnu combien celles-ci ſont préférables aux anciennes; toutes les difficultés qu'on peut nous faire tombent d'elles-mêmes. Si l'on objecte, (car les anciennes coutumes ſont toujours plus favorablement écoutées) que c'eſt ſans doute en conſéquence de quelque principe reçu qu'on a reglé

rimitivement le poids de nos canons, parce qu'on n'auroit pu ſans raiſon les faire auſſi peſants; on peut répondre qu'il y a environ cent ans que les pieces de 4 peſoient autant que nos pieces de 9, & qu'on eût pu apporter en leur faveur les mêmes raiſons par leſquelles on veut juſtifier aujourd'hui la peſanteur des canons : il eſt vrai que pour les petites pieces on pourroit peut-être expliquer la cauſe pour laquelle le poids en étoit ſi conſidérable, en ſuppoſant qu'on s'en ſervît dans les batteries qui ſont à terre; car dans ce cas, leur longueur ne pouvoit être dans le rapport de leur calibre, parce que le parapet étant d'une épaiſſeur conſidérable, une petite piece eût, par ſon exploſion, ruiné les embrazures; enſorte que les petites pieces étant auſſi longues que les groſſes, devoient être par-là même très-peſantes à proportion de leur calibre; mais cette raiſon ne s'étend pas aux canons des vaiſſeaux, qu'il ne pouvoit être utile d'alonger, qu'afin de communiquer aux boulets une plus grande vîteſſe, & nous avons vu que cet avantage étoit fort peu de choſe. En effet, les anciennes pieces de

12, ont 9 pieds à 9 $\frac{1}{2}$ de longueur, & les nouvelles que nous propoſons de fabriquer, n'auroient que 7 pieds ou 7 pieds $\frac{1}{2}$. Néanmoins les vîteſſes que l'une & l'autre communiqueroient à leurs boulets, differeroient de très-peu ; & dans un ſujet comme celui-ci, des différences bien plus conſidérables, ne ſont d'aucunes conſéquences.

Si on diſoit qu'en ſuivant notre méthode, il faudroit auſſi diminuer pour les petites pieces la charge qu'on a coutume d'employer, & qui eſt ordinairement égale à la moitié du poids du boulet pour la proportionner à celle des pieces de 32 qui n'eſt que les 7 ſeiziemes : on pourroit répondre que pour tous les canons de vaiſſeau ce ſeroit un avantage de réduire les charges, à $\frac{1}{3}$ du poids du boulet & même à moins, non-ſeulement parce qu'on épargneroit la munition ; mais qu'en même temps le canon ſeroit moins échauffé, reſteroit plus ferme en ſa place, & feroit beaucoup plus de mal au vaiſſeau ennemi (*).

(*) Depuis quelque temps on a introduit ce même changement dans l'Artillerie Fran-

En

En effet, lorſqu'on ſe ſert des charges ordinaires, le canon s'échauffe conſidérablement, ſon affût eſt affoibli, & cela ſeul peut empêcher les bou-

---

çoiſe, & cela avec la plus grande rigueur, même dans les occaſions où l'accroiſſement de la vîteſſe du boulet ne peut en rien diminuer l'effet; par exemple, lorſqu'il s'agit de battre en breche; par le manuſcrit François nous apprenons que dans tous les ſieges qu'ils ont fait, ils ne ſe ſont jamais ſervi d'autres charges pour battre en breche. Ainſi la charge de leurs pieces de 24 étoient de 8lb de poudre; ils ſavent bien que les boulets pénetrent moins avant dans le rampart, mais ils ont trouvé que tous les avantages, & commodités qu'on en retiroit dans le ſervice, étoient plus que ſuffiſants pour compenſer le défaut de petites charges.

Il faut de plus obſerver, qu'il s'eſt trouvé quantité de perſonnes de diſtinction qui ont ſoutenu, comme il paroît par le manuſcrit François, qu'une charge de 8lb étoit pour les pieces de 24, celle qui pouvoit communiquer au boulet la plus grande vîteſſe poſſible, le fondant ſur ce principe, qu'il ne pouvoit s'enflammer que 8lb de poudre; mais la fauſſeté d'une telle opinion eſt démontrée par l'experience & leurs propres raiſonnements; derniérement encore, on a reconnu qu'en augmentant les charges, du moins juſqu'à 20lb, on augmentoit auſſi la vîteſſe du boulet.

let de produire autant d'effet que ſi la charge étoit plus petite. Il eſt vrai que ſi on entreprend de battre un mur qui ne peut être percé par un ſeul coup de canon, les boulets que l'on tirera pénétreront d'autant plus avant que la charge ſera plus forte ; mais il n'en eſt pas de même pour les côtés du vaiſſeau le plus fort, aucune de ſes pieces ne ſera jamais aſſez épaiſſe, pour arrêter un boulet qui ſeroit tiré d'une diſtance raiſonnable, avec une charge même plus petite que celle que nous avons aſſigné ; c'eſt un fait généralement reconnu, que lorſqu'un boulet n'a préciſément que ce qu'il lui faut de vîteſſe pour traverſer la piece de bois contre laquelle on le tire, il y fait beaucoup plus de fracas, qu'il n'en feroit s'il étoit mu avec une vîteſſe plus conſidérable.

Pour ne laiſſer plus aucun doute dans l'eſprit du lecteur, nous ajouterons encore, ſans craindre d'être démenti par aucune expérience, qu'un boulet tiré avec une piece de 12, formée ſuivant nos principes, & la plus petite dont nous conſeillons l'uſage, avoit pénétré

à 20 pouces de profondeur dans un madrier de chêne le plus dur, la charge n'étant que le tiers du poids de ce boulet. D'où nous concluons que, ſi au lieu d'une poutre ſolide,& d'une ſeule piece, on n'oppoſoit au boulet qu'un aſſemblage de planches, il pénétreroit le double plus avant, en en rabattant quelque choſe, parce que les planches étant aſſemblées, le boulet dans ſon paſſage les briſera avec éclat; il produira toujours un pareil effet à la diſtance de 100 verges, c'eſt-à-dire, à cette diſtance dont les Officiers les plus expérimentés ont toujours recommandé de s'éloigner dans un combat naval; à la vérité un boulet qui ſeroit tiré de la même diſtance avec une charge égale à la moitié de ſon poids, pénétreroit un tiers plus avant que le premier; mais ſi l'un & l'autre ſont obligés de parcourir un eſpace de 500 verges, pour lors leurs forces ne ſeront plus ſenſiblement différentes; & ſi cela eſt, je n'imagine pas qu'on veuille encore ſoutenir qu'une piece de 12, telle que celle qu'on propoſe, fût moins utile pour le ſervice de la marine que ces pieces de 12 ſi lourdes,

dont on fait aujourd'hui uſage.

Si l'auteur dans ſon projet a pris pour régle fixe les pieces de 32, c'eſt parce qu'une longue expérience en a déja montré l'avantage & l'utilité. Cependant par les épreuves qu'il a faites lui-même, il eſt très-perſuadé qu'on pourroit encore en toute ſûreté diminuer de beaucoup plus le poids de ces canons; & qu'une charge qui ne ſeroit que le $\frac{1}{4}$ ou même le $\frac{1}{5}$ du poids du boulet, pourvu qu'elle fût en bon état, ſeroit toujours aſſez forte pour un canon de vaiſſeau de quelqu'eſpece qu'il fût (*). Il eſt cependant bien éloigné de prétendre, qu'on s'en rapporte ſimplement à ſes

(*) Ce n'eſt point une opinion haſardée; j'ai fait fondre une piece de 24 qui peſoit environ 200lb, ce qui n'eſt que le tiers du poids que nous propoſons de lui donner. J'en ai fait fondre pareillement deux autres, l'une de 300lb, l'autre de 400lb, ayant enſuite tiré celle de 300lb avec une charge de 12 onces de poudre, le boulet perça deux planches de chênes épaiſſes chacune de 4 pouces, & une piece du même bois épaiſſe de 14 pouces, ce qui faiſoit en tout 22 pouces; enſuite il s'alla enfoncer dans un amas de terre. La même expérience ayant été répétée une ſeconde fois réuſſit pareillement, & le boulet emporta une partie de la ſolive du

ſpéculations dans une affaire d'une pareille importance. Il avoue même, que ce qu'il avance, il ne l'a confirmé par aucune expérience particuliere; & comme il ſe fonde ſeulement ſur certains principes généraux, & ſur quelques expériences qui ont beaucoup de rapport à ce que nous venons de rapporter, il recommande de faire, avant de le croire, des expériences à ce ſujet, comme le ſeul moyen de lever entiérement tous les doutes. Son unique ob-

---

poids de 25℔, & la pouſſa à 10 verges de diſtance. Après pluſieurs épreuves, la premiere & la ſeconde des trois pieces creverent; mais celle qui peſoit 400℔ réſiſta à tout l'effort de ſes charges, & je la crois auſſi bonne qu'aucune autre piece de campagne, quoiqu'elle ſoit bien plus légere. En effet, avec neuf onces de poudre elle pouſſa ſon boulet à la hauteur verticale de 300 verges. Elle ſupporteroit même une charge double ou triple de la ſienne. Je crois même que ſi les deux autres ſont crevées, ce n'eſt pas pour avoir été trop minces; mais parce que ſans doute elles avoient quelque défauts; mais la plus épaiſſe de ces trois pieces n'eſt pas ſeulement d'un quart auſſi peſante que celles qui ſont en uſage, par conſéquent dans bien des occaſions elles peuvent être de la plus grande utilité.

jet dans ce Mémoire eſt de montrer de quelle importance ſeroit la réforme qu'il propoſe. Si ceux à la cenſure deſquels il ſoumet ſon ouvrage, ſont du même ſentiment, il ſe préſente un moyen bien facile de prouver ſi ſes ſuppoſitions ſont vraies.

On n'a qu'à faire fondre une piece de 12, & l'éprouver avec une quantité de poudre égale à celle dont on ſe ſert pour l'épreuve des pieces de 32. Pour lors, ſi l'on tire cette piece ſur un affût, un certain nombre de fois, & qu'on examine avec attention ſon recul, ſa chaleur, & la profondeur où le boulet pénetre dans un madrier de chêne, on pourra juger de l'utilité, ou du déſavantage de cette piece, & le réſultat de ces expériences ſera la réfutation, ou la confirmation de notre projet.

LETTRE à Mr. FOLQUES, Ecuyer, Préſident de la Société royale de Londres, en réponſe à une des ſiennes, où étoit renfermé un billet de Mr. d'ONORIO, Envoyé du roi de Sardaigne.

*MONSIEUR,*

*J'ai reçu votre lettre & le billet que vous m'avez fait tenir de la part de ſon Excellence le Chevalier d'Onorio. Il paroît deſirer avoir une copie du Mémoire que j'ai préſenté à la Société royale, touchant la quantité de poudre dont il convient de charger un canon. Vous ſavez, Mr., que cette même queſtion eſt expliquée fort au long dans la lettre que j'écrivis à Mylord Anſon, le mois de Mars dernier; & comme je m'eſtime fort honoré de la demande que me fait ſon Excellence, je ſuis prêt de lui donner une copie, non-ſeulement de cette lettre; mais encore de tous les autres Mémoires que j'ai pu compoſer à ce ſujet. Sans doute que le roi de Sardaigne n'eſt curieux de connoître, & examiner mes opinions là-deſſus, que parce qu'il a fait*

*faire à Turin quelques expériences ; je me flatte même que ceci donnera occasion à des épreuves plus déciſives, qui pourront enfin prouver la vérité des principes de ma théorie d'une maniere inconteſtable ; mais comme dans la demande que me fait ſon Excellence, ſon principal objet eſt de connoître la juſte charge d'une piece de canon, & que c'eſt à ce ſujet que les expériences de Turin ont été faites, n'ayant jamais rien dit là-deſſus qu'en paſſant dans aucune partie de mes Mémoires, ſouffrez que je m'explique ici d'une maniere plus étendue, & que j'établiſſe les vrais principes ſur leſquels on doit ſe fonder dans une pareille recherche. J'oſe l'entreprendre avec d'autant plus d'ardeur, & de zele qu'il ne paroît pas que, juſqu'à préſent perſonne ait encore éclairci & bien compris cette matiere.*

Toutes les expériences qu'on a fait à ce ſujet, du moins celles qui ſont venues à ma connoiſſance, ſont ſi peu exactes, ſi pleines d'erreurs, qu'elles ne peuvent là-deſſus rien déterminer de certain ; je penſe qu'il ne ſera pas inutile d'en

faire le détail, ainſi que des faux principes, ſur leſquels on s'eſt appuyé avant d'expliquer la maniere ſimple & naturelle, dont on doit procéder dans cette recherche.

Tous ceux qui ont entrepris d'aſſigner les juſtes charges d'un canon, ( & il en eſt peu de ceux qui ont écrit ſur l'Artillerie qui n'aient voulu le tenter ) tous ces auteurs, dis-je, ont communément ſuppoſé que pour chaque piece, il étoit une certaine charge qui communiquoit au boulet la plus grande vîteſſe poſſible ; & on a imaginé que cette charge déterminée, devoit être celle dont toute la poudre s'enflammoit. Pour confirmer cette opinion, ceux des Canoniers qui ont eu le plus d'induſtrie, ont fait à ce ſujet des expériences. Ils ont tiré la même piece toujours ſous un même angle d'élévation, mais avec des charges différentes, & qui alloient toujours en augmentant ; & ils ont prétendu avoir trouvé que, paſſé une certaine quantité de poudre, ſi on augmentoit la charge, l'étendue de l'amplitude diminuoit. Delà ils ont conclu que cette charge qui pouſſoit le boulet à une

plus grande diſtance que toutes les autres, étoit préciſément la juſte charge du canon que l'on éprouvoit; mais cette opinion eſt très-fauſſe, & les expériences ſur leſquelles elle eſt fondée, ſont des plus illuſoires. En effet, il n'eſt point de charge qui étant augmentée (du moins juſqu'aux bornes preſcrites) ne communiqne au boulet une plus grande vîteſſe. L'inflammation de la charge entiere n'a rien de commun avec cette queſtion : & les expériences ne réuſſiſſent jamais avec autant d'exactitude qu'ils le ſuppoſent. Il n'eſt pas toujours certain que le boulet qui a le plus de vîteſſe au commencement de ſon mouvement ſoit porté à la plus grande diſtance. Ainſi les ſuppoſitions ſur leſquelles ils ſe ſont fondés dans leurs recherches ſont très-fauſſes : on verra pareillement, que toutes les conſéquences qu'ils en ont tirées ne ſont ni juſtes ni vraies, & j'eſpere qu'il ſera facile de s'en convaincre par les réflexions ſuivantes.

On a communément ſuppoſé que la juſte charge d'une piece ſe trouve toujours entre $\frac{1}{3}$ & $\frac{2}{3}$ du poids du boulet. Cependant j'ai reconnu par quantité d'ex-

périences, que ſi dans des petits canons on augmentoit conſidérablement cette charge, par-là même on augmentoit auſſi la vîteſſe de la balle. Par exemple, un fuſil ordinaire chargé avec une balle de plomb de 12 à la livre, & une quantité de poudre égale au tiers du poids de cette balle, lui communiqueroit une vîteſſe de 1500 pieds par 1″. Si la charge eſt égale à la moitié du poids de la balle, pour lors elle ſera mue avec une vîteſſe de 1700 pieds dans le même eſpace de temps. Avec une charge égale aux deux tiers du poids de la balle, la vîteſſe ſe trouvera d'environ 1900 pieds par 1″; & avec le double de cette charge elle ſera à peu près de 2300 pieds, & comme la juſte charge qu'on aſſigne communément pour toute eſpece de canon n'eſt que la moitié de celle-ci, on voit combien on doit faire peu de fond ſur tout ce qui les peuvent avoir déterminé à ce ſujet.

Si l'on me dit que cela ne conclut rien pour les groſſes pieces, & qu'il peut fort bien ſe faire qu'il y ait pour elles des charges, (ſuppoſez-les la moitié ou les deux tiers du boulet) qui communi-

quent au boulet la plus grande vîteſſe poſſible. Je réponds qu'il eſt bien vrai que dans les pieces qui ſont très-longues, par rapport à leur calibre, les variations de vîteſſes, ſuivant les principes de nos auteurs, devroient être moins conſidérables ; mais j'ai trouvé qu'en augmentant la charge, j'augmentois la vîteſſe ; & pour prouver cette vérité, j'en appelle aux expériences ordinaires. Par exemple, lorſqu'on éprouve une piece avec une charge égale au poids du boulet ( ce qui ſe pratique quelquefois ), n'éprouve-t-on pas que le recul & la chaleur de la piece ſont plus conſidérables que ſi la charge eût été plus petite, & par conſéquent que l'action de la poudre ſur le boulet doit être plus forte, & le chaſſe avec plus de vîteſſe ?

Pour ſe mieux convaincre de cette vérité, que ceux qui s'imaginent qu'une charge égale au poids du boulet, ne lui communique pas une plus grande vîteſſe que la moitié de cette charge ſeulement, eſſaient de tirer une piece de canon contre un amas de terre d'une conſiſtance uniforme, ou contre un madrier quelconque, & qu'ils examinent

à quelles profondeurs pénetre le boulet; en obſervant cependant de ne placer ce but qu'à 50 verges tout au plus de la bouche de la piece. J'ai fait cette expérience, auſſi exactement qu'il m'a été poſſible avec une petite piece, & un boulet parfaitement juſte au calibre; & j'ai trouvé que, dans une piece longue d'environ 30 fois ſon diametre, (ce qui eſt à peu près la dimenſion d'une piece de 6) le boulet ayant été tiré d'abord avec une charge égale à la moitié de ſon poids, & enſuite avec d'autres charges plus conſidérables, parvînt enfin à pénétrer la moitié plus avant que la premiere fois dans un madrier de chêne très-dur, & placé à 10 verges de la bouche du canon.

De pareilles expériences ſuffiſent pour prouver inconteſtablement la fauſſeté de ce principe communément reçu, *qu'il eſt pour chaque piece une charge déterminée, qui communique au boulet plus de vîteſſe qu'aucun autre, ſoit plus forte, ſoit plus petite.* Je crois cependant qu'il y a pour chaque canon une pareille charge; mais elle eſt de beaucoup plus forte que toutes celles qu'on

emploie ordinairement pour le ſervice, & dans les épreuves. Elle eſt ſi conſidérable qu'aucune des pieces fondues avec des dimenſions ordinaires ne pourroient en ſoutenir l'effort ; elle remplit preſque les $\frac{1}{8}$ de la piece, par conſéquent elle ne pourra jamais être miſe en uſage dans la pratique, & ne doit entrer pour rien dans cet examen.

Après avoir démontré la fauſſeté du principe ſur lequel on s'appuyoit dans la recherche de la juſte charge, venons maintenant aux expériences qu'on a fait à ce ſujet, & qu'on prétend avoir confirmé cette opinion, c'eſt-à-dire, ces expériences, où l'on a trouvé qu'une même piece pointée conſtamment ſous un même angle, avoit porté ſon boulet avec cette juſte charge imaginaire, plus loin qu'avec toute autre plus conſidérable ; il eſt bien facile de voir l'inconſéquence des raiſonnements qu'ils ont fondés là-deſſus, puiſque les effets qu'ils ont obſervé n'avoient d'autre cauſe que l'irrégularité des amplitudes d'une même piece pointée ſous un même angle, & chargée d'une même quantité de poudre, cette

irrégularité étant occaſionnée par la force de déclinaiſon, ainſi que je l'ai ci-devant expliqué à la Société, peut ſouvent être des plus conſidérables ; & delà il arrive que ce ne ſont pas les boulets mus avec le plus de vîteſſe qui ſont toujours portés à la plus grande diſtance ; mais quelquefois ſi cette force de déclinaiſon ſe trouve favorable au mouvement progreſſif, le boulet qui a le moins de vîteſſe ſera celui qui aura la plus grande amplitude. Au ſurplus, je ſuis très-ſûr, & j'en ai de bonnes raiſons, que pour prouver qu'il eſt une juſte charge, on a choiſi les expériences qui ſembloient s'accorder avec cette opinion, & on a rejetté les autres ſous le prétexte qu'elles étoient irrégulieres. En effet, les différences qu'on trouve entre les amplitudes qu'on rapporte ne ſont tout au plus que de 100 à 200 verges ; & cependant dans celles que j'ai faites, je puis dire avec une grande exactitude, il eſt arrivé qu'une piece de 24 pointée ſous un angle de $7^{\circ}\frac{1}{4}$, & chargée avec une même quantité de poudre, avoit à la premiere décharge porté ſon boulet à 2300 verges, & à la ſeconde à

plus de 3000. Enſorte que ſouvent la différence des amplitudes d'un boulet tiré d'une même piece, avec la même charge, & ſous un même angle d'élévation, ſe trouve quadruple, & même quintuple de celle qu'on veut nous aſſigner dans ces expériences avec leſquelles on prétend appuyer l'opinion dont nous avons parlé ci-deſſus.

Mais comme il eſt faux, que dans la pratique il exiſte une charge qui puiſſe communiquer au boulet la plus grande vîteſſe poſſible ; & comme les différences entre les amplitudes qu'on veut nous donner pour preuve, ne ſont que les ſuites de l'irrégularité inſéparable des grandes amplitudes, on me demandera, peut-être, quelle proportion on doit donc mettre entre la charge & le boulet, & les loix qu'on doit obſerver à ce ſujet dans les différentes circonſtances.

A quoi je réponds, que dans toutes les occaſions il ne faut jamais employer que la quantité de poudre préciſément ſuffiſante pour un effet propoſé, non-ſeulement parce qu'on épargnera par-là beaucoup de munitions ; mais encore parce qu'en ſe ſervant de moindres charges

ges la piece s'échauffera moins, le ſervice en ſera plus prompt, & le boulet s'écartera moins de la direction qu'on veut lui donner.

Delà, il ſuit que les charges doivent être augmentées ou diminuées ſuivant les occaſions où on ſe trouve. Par exemple, la maçonnerie dont ſont ordinairement revêtus les ramparts des places fortes, oppoſant au boulet beaucoup plus de réſiſtance que les flancs du vaiſſeau le plus ſolide, les charges des canons doivent être auſſi plus conſidérables. Comme le boulet en paſſant au travers des Bataillons éprouve moins de réſiſtance que dans les deux cas précédents, les charges des pieces de campagne, & de toutes celles dont on ſe ſert contre les Troupes, doivent être auſſi plus petites; & quoiqu'on ne puiſſe jamais aſſigner pour la charge une quantité de poudre fixe & invariable, cependant en comparant les limites entre leſquelles ces trois opérations ſont compriſes on parviendra à approcher de très-près la juſte charge qu'on cherche.

Pour ce qui eſt de battre en breche, les François n'ont employé que des

charges égales au tiers du poids du boulet, dans tous les ſieges qu'ils ont fait dans les dernieres campagnes, & leurs entrepriſes ont aſſez bien réuſſi.

Il y a ſi peu de différence entre la force de deux boulets tirés l'un, avec une charge égale au , de ſon poids,& l'autre avec une charge double de la 1ere. que tous les avantages qu'on retire d'une petite charge, l'emporte de beaucoup ſur celui d'une plus forte, qui conſiſte à produire de plus grands effets. Par conſéquent on ne doit pas manquer dans une opération quelconque, ( & ce ſera une régle invariable) de ſe ſervir jamais de charges plus fortes que $\frac{1}{3}$ du poids du boulet, même ſi l'on ſe trouvoit à de grandes diſtances de l'objet contre lequel ſeroient dirigées les batteries, car dans ce cas en augmentant la charge on n'augmente pas pour cela l'amplitude du boulet.

S'il s'agiſſoit de tirer contre des vaiſſeaux avec du canon très-peſant, il faudroit encore diminuer la charge, & qu'elle ne fût égale qu'au $\frac{1}{4}$ ou $\frac{1}{5}$ du poids du boulet. Car j'ai éprouvé que le dommage que fait aux ennemis un boulet tiré avec de ſi petites quantités de pou-

dre eſt beaucoup plus conſidérable, que celui qui eſt cauſé par des boulets tirés avec ces charges énormes qui ſont aujourd'hui en uſage.

Enfin, lorſqu'on tire ſur des Troupes les charges doivent être encore plus petites; on ne ſauroit croire combien il faut peu de poudre pour rendre le coup d'un boulet, mortel à tous ceux qu'il rencontre. On a vu dans les expériences dont j'ai préſenté le rapport à la Société royale, qu'une once de poudre dans la chambre d'un petit mortier avoit pouſſé un boulet de 24lb à la diſtance de 240 verges.

Ce boulet reçut de l'impulſion de cette poudre une force égale à celle qu'il acquerroit s'il tomboit du haut de l'Egliſe de St. Paul; il eſt certain qu'un boulet qui tomberoit d'une pareille hauteur ſeroit capable d'écraſer celui ſur lequel il ſeroit tombé. Pour qu'on ne s'imagine pas que la gravité du boulet puiſſe plus contribuer à la force du coup que la vîteſſe qu'il acquiert, j'ajouterai encore qu'une balle de mouſquet bien juſte au calibre, tirée avec une quantité de poudre égale au $\frac{1}{24}$ de ſon poids,

percera une planche de ſapin de plus d'un pouce d'épaiſſeur, & par conſéquent elle auroit aſſez de force pour faire à un homme, une bleſſure mortelle. En effet, elle pénétrera dans une ſubſtance molle 10 fois plus avant que ne feroit une balle tirée avec la meilleure arbalête, & on ſait cependant qu'une telle arbalête peut porter des coups mortels. Tout bien peſé & examiné, je crois que ſi on tire contre des Troupes, des boulets ou des balles en grappes de raiſin, la charge ne doit être que $\frac{1}{7}$ du poids du boulet, & même lorſqu'on eſt fort proche de l'ennemi elles n'en doit être que $\frac{1}{10}$. De pareilles charges produiront de plus grands effets que ſi elles étoient plus fortes. Car ſi la quantité de poudre qu'on emploie eſt conſidérable les balles ſe diſperſeront au ſortir de la piece, au lieu qu'avec une petite charge elles demeureront plus ſerrées leurs coups ſeront plus ſûrs, & le ravage qu'elles feront parmi les Troupes ſera beaucoup plus terrible, en ce qu'elles ne frapperont qu'en un ſeul endroit, & rompront par ce moyen & les rangs & les lignes.

De plus, lorſqu'on aura ſenti toute l'activité des petites charges, & qu'on les aura miſes en uſage dans la pratique: on pourra diminuer le poids des pieces de campagnes; on les rendra plus légeres, & par conſéquent il ſera plus facile de les manier, & de les tranſporter, ce qui pourra procurer dans le ſervice quantité d'avantages qu'il n'eſt pas néceſſaire de rapporter. Je ſais bien que depuis une cinquantaine d'années on a ſouvent entrepris de diminuer le poids des pieces de campagne; mais ceux qui ont fait ces tentatives, ont continué de les charger avec des quantités de poudre, égales à celles dont on faiſoit uſage pour les anciens canons, ou s'ils ont diminué la charge, ils n'ont pas laiſſé d'aſſurer que la vîteſſe que par ce moyen on communiquoit au boulet, étoit plus petite que ſi la charge eût été plus forte. Cette aſſertion dont nous avons montré la fauſſeté les embarraſſoit beaucoup, & donnoit un grand avantage ſur eux aux Officiers qui, attachés ſcrupuleuſement aux anciennes pratiques, étoient les ennemis de toutes ces nouveautés. Si on n'objecte que les

petites pieces dont je recommande l'uſage, peuvent bien ſuffire lorſqu'on eſt proche de l'ennemi, mais qu'il n'en ſeroit pas de même, ſi l'on en étoit éloigné d'une grande diſtance ; je réponds que le canon qui eſt tiré de fort loin ne faiſant jamais beaucoup de mal à l'ennemi, ce cas ne doit entrer pour rien dans l'examen dont il s'agit ; & au ſurplus deux charges très-différentes égales l'une à $\frac{1}{7}$, & l'autre à $\frac{1}{4}$ du poids du boulet, font cependant parcourir aux boulets des eſpaces à peu près égaux ; puiſque, ſuivant nos principes, un boulet de $4^{lb}$, tiré ſous un angle de $10^{\circ}$ avec la plus petite de ces deux charges, ſeroit porté à une diſtance qui ne ſeroit que de $\frac{1}{5}$ plus petite, que celle qu'il parcourroit ſi l'on employoit la plus forte charge ; & au bout de ces deux amplitudes reſpectives les vîteſſes du boulet ſeroient peu différentes.

Voilà, Mr. tout ce que j'ai pu imaginer à ce ſujet ; & s'il reſtoit encore quelque doute ſur ce que j'ai avancé, j'entreprendrois de le prouver par des expériences. Si cette lettre vous paroît trop longue par rapport à la ſimplicité du

ſujet, j'eſpere que vous voudrez m'excuſer, en conſidérant que c'eſt un malheur attaché à tous ceux qui veulent réformer quelque partie des arts & des ſciences, d'être obligés de perdre une grande partie de leur temps, & d'employer grand nombre d'arguments, pour détruire les préjugés qu'ils ont trouvé établis, quoique ces préjugés n'aient d'autre appui & d'autre fondement que leur ancienneté, & l'eſpece de ſoumiſſion avec laquelle ils ont toujours été reçus; je ſuis moi-même ſi perſuadé des difficultés qu'on trouve à attaquer des opinions confirmées par les temps, qu'avant de finir cette lettre, je crois devoir faire une courte récapitulation de tout ce que je puis avoir avancé : Savoir, qu'il n'eſt point ainſi, qu'on le croit, de juſte charge qui puiſſe communiquer au boulet la plus grande vîteſſe poſſible; que les expériences dont on veut appuyer cette aſſertion, ſont illuſoires; que cette plus grande vîteſſe cherchée, quand même on parviendroit à la déterminer, produiroit dans la pratique moins d'effet qu'une plus petite; que la ſeule régle qu'on doit obſerver dans les char-

ges, c'eſt de les proportionner à l'uſage auquel on les deſtine, & par conſéquent qu'elles doivent varier ſuivant les occaſions où l'on ſe trouve ; que toutes celles dont on ſe ſert dans la pratique ſont trop fortes, & particuliérement lorſqu'on tire contre des Troupes ; que dans ce cas de moindres charges produiroient de plus grands effets ; qu'elles peuvent être par conſéquent de beaucoup diminuées ; & que par ce moyen on pourroit auſſi rendre les pieces de campagnes plus légeres. J'ajouterai enfin que toutes les opinions touchant la juſte longueur des pieces ſont auſſi fauſſes, & auſſi embrouillées que celles dont je viens de parler ; & qu'en ſuivant les principes reçus, on ne pourra jamais déterminer cette longueur cherchée.

# LETTRE

## A Mylord Anderson.

*Mylord,*

„ Comme c'eſt par votre protection „ que j'ai obtenu la permiſſion de faire „ à Chatham quelques expériences avec „ le gros canon, je croirois manquer à „ la reconnoiſſance, ſi je ne vous en pré- „ ſentois pas le réſultat, d'autant mieux „ qu'il a beaucoup de rapport avec le „ ſujet ſur lequel j'ai eu l'honneur de „ vous entretenir. Je veux dire le projet „ de diminuer les charges des canons „ peſants, afin de pouvoir ſubſtituer à „ ces pieces des canons beaucoup plus „ légers.

„ Mais, afin qu'on puiſſe bien me com- „ prendre, permettez-moi d'expliquer „ en peu de mots les principes que j'ai „ avancés ci-devant, & qui ſont main- „ tenant ſuffiſamment prouvés par mes „ dernieres expériences. Cela eſt d'au- „ tant plus néceſſaire, que j'ai remar- „ qué que dans la pratique pluſieurs „ perſonnes aſſocioient les anciens pré-

„ jugés & opinions, aux regles que j'aï
„ preſcrites à ce ſujet, & qu'on m'attri-
„ buoit ainſi des ſentiments, diamétra-
„ lement oppoſés aux miens.

„ Quoique j'imagine qu'il n'eſt au-
„ cune charge actuellement en uſage,
„ qui étant augmentée ne puiſſe com-
„ muniquer au boulet une grande vîteſ-
„ ſe, & ajouter quelque choſe à ſa force,
„ en ſuppoſant qu'il ſoit tiré de près, je
„ ſoutiens cependant que, lorſque les
„ charges ſont conſidérables, cette aug-
„ mentation de force & de vîteſſe dans
„ le boulet eſt, par rapport à l'augmenta-
„ tion de la charge, beaucoup plus petite
„ qu'elle ne devroit être. Elle eſt bien-
„ tôt affoiblie par la réſiſtance prodi-
„ gieuſe que l'air oppoſe à de grandes
„ vîteſſes. D'où il arrive, que ſi on au-
„ gmente conſidérablement une charge,
„ l'amplitude du boulet, & ſa force à
„ la fin de ſon mouvement ne ſeront
„ pas ſenſiblement différentes de ce
„ qu'elles auroient été ſans cette aug-
„ mentation. Au ſurplus, on doit être
„ perſuadé, que ſouvent la grande vî-
„ teſſe d'un boulet non-ſeulement eſt
„ inutile, mais encore préjudiciable.

„ Un boulet qui n'a pour traverſer un „ ſolide que la force préciſément néceſ- „ ſaire, y fera beaucoup plus de dom- „ mages qu'un autre qui, après l'avoir „ percé d'outre en outre conſerveroit „ encore une grande partie de ſa vîteſſe. „ J'ajouterai enfin que les amplitudes, „ & la force d'un boulet lancé avec une „ petite quantité de poudre, ſurpaſſent „ de beaucoup tout ce qu'en atten- „ droient ceux qui n'ont point fait là- „ deſſus des expériences.

„ Tels ſont, MYLORD, les vrais prin- „ cipes que vous connoiſſez, & que j'ai „ toujours ſoutenus. C'eſt là-deſſus que „ je me ſuis reglé dans mes expériences „ à Chatham; le 11 Juillet, je fis met- „ tre à terre une piece de 18lb de balles „ la plus groſſe que j'y ai trouvé; je fis „ baiſſer la culaſſe auſſi bas que l'affût „ pouvoit le permettre, & elle ſe trou- „ voit pour lors élevée de 15°, enſuite „ je la fis charger non avec 9lb de pou- „ dre, comme on a coutume de faire, „ mais avec quatre onces ſeulement, & „ le boulet à différentes fois fut porté „ depuis 220 juſqu'à 250 verges. On doit „ obſerver que le boulet lorſqu'il ren-

„ controit dans ſa chûte un terrein ſec „ & ferme, ſe réfléchiſſoit & alloit en „ bondiſſant à une diſtance conſidéra- „ ble ; mais étant une fois tombé dans „ une prairie, il s'enfonça dans la terre „ à près de trois pieds de profondeur. Si „ on compare cette vîteſſe avec celle „ des projectiles lancés par les machi- „ nes des anciens, on trouvera que nos „ plus petites charges peuvent produire „ d'auſſi grands effets.

„ Dans la ſeconde épreuve la piece „ fut chargée avec $\frac{1}{2}$ livre de poudre, ou „ la 18^e^. partie de la charge ordinaire, & „ l'angle d'élévation étant de 12° ſeu- „ lement le boulet fut porté à la diſtance „ de 500 verges, & enſuite en bondiſſant „ il en parcourut encore à peu près 300.

„ Je chargeai la piece avec une livre, „ ou la 9^e^. partie de la charge ordinai- „ re, & l'ayant pointée ſous un angle „ de 15°, l'amplitude fut de 1400 à „ 1600 verges, & ſous un angle de 5° „ elle ſe trouva de 550 à 630 verges.

„ La charge étant de 2^lb^ de poudre, „ & l'élévation de $3°\frac{1}{2}$, l'amplitude fut „ de 900 à 1100 verges, tandis qu'à „ l'élévation de 15° elle eût été d'un „ mille & demi.

„ Avec trois livres de poudre & à un
„ angle de 6°, je trouvai que l'ampli-
„ tude étoit de 1500 à 1650 verges, &
„ avec 3lb ½ & ſous la même élévation,
„ le boulet fut porté deux fois de ſuite
„ à 1760 verges, ou à un mille d'An-
„ gleterre. D'où je conclus que ſous un
„ angle de 15°, il eût parcouru pour le
„ moins 3000 verges.

„ Telles ſont les amplitudes d'un
„ boulet de 18lb tiré avec les plus peti-
„ tes charges de poudre. Ceux qui ne
„ ſont point au fait de ces ſortes d'ex-
„ périences ne les auroient pas crues auſſi
„ conſidérables; & en effet en ajoutant
„ 7lb à la charge de 3lb ½, on n'aug-
„ menteroit pas de beaucoup l'amplitu-
„ de du boulet, ainſi que je puis aiſé-
„ ment le prouver par mes expériences.

„ Celles que je fis enſuite avoient
„ pour objet de trouver à quelle pro-
„ fondeur un boulet tiré avec de petites
„ charges pourroit pénétrer dans une
„ piece de charpente: en conſéquence
„ on compoſa un but d'environ cinq
„ pieds quarrés de ſurface, avec deux
„ pieces de bois de chêne bien dur &
„ bien ſec. La premiere étoit en aſſem-

„ blage de pluſieurs madriers enfoncée „ perpendiculairement dans la terre, & „ dans la ſeconde les madriers étoient „ placés horizontalement. Les uns & „ les autres étoient de 6 pouces & demi „ d'épaiſſeur, enſorte que celle du but „ étoit de 13 pouces. Toutes les parties „ qui le compoſoient étoient liées en- „ ſemble par des bois de traverſe, & des „ étais les appuyoient tant devant que „ derriere. Ayant enſuite placé ce but „ à la diſtance de 30 verges de la piece „ de 18 ℔ de balles, & la charge étant „ d'une livre de poudre, le boulet dans „ différentes épreuves traverſa toujours „ le but tout entier, il perçoit ſimple- „ ment la premiere planche de chêne; „ mais il fracaſſoit la ſeconde, & en „ portoit des éclats à la diſtance de 10 „ à 30 verges.

„ Lorſque le 1^er^. but eut été entiére- „ ment briſé, on en fit un autre épais „ de cinq madriers, ou de 32 pouces & „ demi. Deux des madriers étant alter- „ nativement placés perpendiculaire- „ ment & horizontalement, chacun „ étoit attaché par des crampons à celui „ qui le ſuivoit. Le tout étoit enſuite

„ lié enſemble par des pieces de traver-
„ ſe, & étayé de part & d'autre.

„ Tout étant ainſi préparée, on tira
„ la piece ſucceſſivement avec des char-
„ ges de $3^{lb}\frac{1}{2}$, de $3^{lb}$, & $2^{lb}\frac{1}{2}$ de pou-
„ dre ; chaque fois le boulet perça le
„ but tout entier, & emporta avec lui
„ de grands éclats ; mais celui qui fut
„ tiré avec $2\frac{1}{2}$ de poudre y fit plus de
„ dommages que tous les autres. Il ar-
„ racha les crampons, ſépara les ma-
„ driers, & rompit en deux le dernier
„ qui étoit épais de 6 pouces & demi,
„ & large de 15.

„ Ces expériences faites, comme ces
„ madriers joints enſemble n'oppoſoient
„ point au boulet autant de réſiſtance
„ qu'une ſolive ſolide & d'une ſeule
„ piece, j'en fis préparer de chêne d'An-
„ gleterre bien ſec & bien dur, & qui
„ avoient environ un pied & demi d'é-
„ paiſſeur ſur deux de large. On en
„ planta trois perpendiculairement à
„ côté l'une de l'autre ; derriere on en
„ coucha trois autres, & enfin derriere
„ celle-ci, on en planta encore per-
„ pendiculairement trois autres ſembla-
„ bles aux premieres ; deſorte que le

„ but avoit 4 pieds & demi d'épaiſſeur, „ toutes les pieces étoient attachées „ par des crampons de fer qui le traver- „ ſoient, & on avoit placé des étais pour „ les ſoutenir devant & derriere.

„ Tout étant ainſi diſpoſé, & la „ charge étant de 6℔ de poudre, le „ boulet pénétra dans le but depuis 37 „ juſqu'à 46 pouces de profondeur; avec „ 3℔ il pénétra de 33 pouces, & enfin „ il s'enfonça de 28 avec 2℔ ½, & de „ 14 ½ à 15 ½ avec 1℔. Il eſt bon de vous „ faire obſerver qu'à chaque épreuve „ on avoit ſoin de tirer contre une par- „ tie du but qui n'étoit point endom- „ magée par les autres coups. J'ajoute- „ rai auſſi que les crampons qui tenoient „ les pieces de bois liées enſemble, furent „ par ces ſecouſſes fréquentes courbés, „ comme des fils d'archal; mais on me „ dira peut-être que ma piece étoit „ trop peu éloignée du but; que ſi elle „ l'eût été davantage l'effet des peti- „ tes n'eût pas été à beaucoup près ſi „ conſidérable; à quoi je réponds que „ ſi je n'ai pas placé mon but à cer- „ taine diſtance de la piece, c'eſt que „ le terrein qui étoit fort marécageux

n'a

„ n'a pu me le permettre. Je ſuis ſûr
„ néanmoins que ſi le but eût été plus
„ éloigné de la piece, la force du boulet
„ n'auroit pas été pour cela bien diffé-
„ rente de celle que nous avons aſſi-
„ gnée ; car le boulet ayant été tiré
„ enſuite avec 3 ℔ de poudre contre une
„ élévation de terre éloignée de la piece
„ de 700 verges, & épaiſſe de 8 pieds
„ il la perça d'outre en outre. Il faut
„ de plus obſerver que, dans ces expé-
„ riences, on ne s'eſt point appliqué
„ à augmenter la force de la poudre ;
„ mais qu'on a ſimplement placé le
„ boulet contre la charge ſans refou-
„ ler, & ſans mettre de bourre devant
„ la charge & devant le boulet.

„ De toutes ces expériences, je crois
„ pouvoir conclure que les effets des
„ petites charges ſont beaucoup plus
„ conſidérables qu'on ne l'auroit cru :
„ que ſi on ajoute quelque choſe à une
„ charge de 3 ℔ & demie pour une piece
„ de 18 ℔ de balles, l'amplitude du
„ boulet, ainſi que ſa force à une cer-
„ taine diſtance, ne ſeront pas ſenſi-
„ blement augmentées ; que cette force
„ eſt plus que ſuffiſante pour lui faire

„ percer les côtés du vaiſſeau le plus „ ſolide.

„ De ces principes on pourroit tirer „ grand nombre de conſéquences des „ plus importantes, pour l'Artillerie, „ tant ſur mer que ſur terre ; mais com- „ me je m'apperçois que je n'ai déja que „ trop laſſé votre patience, je renver- „ rai à un autre temps, les obſerva- „ tions que j'ai faites à ce ſujet, & le „ détail de quelques expériences d'une „ autre nature que j'ai faites auſſi à „ Chatham.

---

## *SUR l'art de pointer le canon contre des objets éloignés.*

LA méthode de pointer un canon, pour atteindre les objets éloignés, dépend de deux choſes. La premiere, c'eſt de tracer ſur la ſurface du canon une ligne viſuelle parallele à l'axe, par le moyen de laquelle on puiſſe diriger la piece lorſqu'il ne s'agit que de petites diſtances ; l'autre, c'eſt de déterminer combien il en faut rabattre à cauſe de la courbe que forme le projectile lorſ-

que l'objet contre lequel on tire eſt fort éloigné.

La premiere des deux opérations s'appelle communément diviſer, & ſe fait en prenant la moitié de la différence du diametre du cercle de la bouche, & de celui de la culaſſe : on placera cette diſtance perpendiculairement à l'extrêmité du canon & à ſon centre, car alors la ligne qui partira de ce point qui eſt préciſément le centre de la piece, & qui paſſera à l'extrêmité de la diſtance que nous avons placé à la bouche du canon, ſera parallele à ſon axe ſi la piece eſt exactement forée, & par conſéquent dans les petites diſtances, où la courbure de la ligne décrite par le boulet eſt inſenſible, elle ſera la vraie ligne de tir. Lorſque les objets qu'on voudra frapper ſeront un peu éloignés, on ne ſauroit régler l'élévation à laquelle on doit pointer la piece, que préalablement la ligne que nous venons de décrire ne ſoit établie ; car on apperçoit aiſément que plus l'objet ſera éloigné, plus la piece doit être élevée au-deſſus de la ligne qui exprime le prolongement de la piece à l'objet. Nous allons

faire voir quelle doit être cette élévation par rapport aux diſtances différentes, & de quelle maniere l'eſtimation en doit être faite.

La courbe décrite par le boulet eſt *cæteris paribus*, plus ou moins grande, ſuivant les différentes charges de poudre ; mais par les conſéquences déduites de nos principes, nous avons obſervé, qu'on devoit préférer la charge qui produit une vîteſſe de 1100 à 1200 pieds par ſeconde ; nous ſuppoſerons donc dorénavant que les pieces dont nous nous ſervirons ſeront chargées d'une maniere capable de produire cette vîteſſe: ſuivant cette propoſition, ſi le boulet n'étoit pas retardé par la réſiſtance que l'air lui oppoſe à chaque inſtant de ſa courſe, il ſuivroit que l'amplitude correſpondante à un degré d'élévation, pourroit être évaluée à 450 verges, pour deux degrés à 900, pour trois à 1350, & ainſi de ſuite ; car indépendamment de la réſiſtance de l'air, les amplitudes à différentes élévations ſeroient à peu près dans le rapport de ces angles, au moins juſqu'à huit ou dix degrés ; mais le changement qu'elle apporte à ſes amplitudes eſt

conſidérable, car cette réſiſtance, en retardant continuellement la vîteſſe du boulet, rendra la ligne qu'il décrit plus courbe. Elle ſera d'autant plus conſidérable dans les boulets, qu'ils ſont plus puiſſamment retardés. Comme le calcul de ces variations devient trop difficile pour y recourir à chaque inſtant, afin d'éviter de trop grands calculs, nous avons inſéré dans la Table ſuivante les angles d'élévation qui, dans les différentes pieces correſpondent aux différentes diſtances.

| Amplitudes actuelles en verges. | *Angles d'élévation.* | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 24 lb | 12 lb | 9 lb | 6 lb | 3 lb |
| 1400 | 4..12 | 4..30 | 4..45 | 5.. 0 | 5..57 |
| 1200 | 3..26 | 3..40 | 3..50 | 4.. 0 | 4..30 |
| 1000 | 2..45 | 2..54 | 3.. 0 | 3.. 7 | 3..30 |
| 800 | 2.. 6 | 2..10 | 2..13 | 2..20 | 2..30 |
| 600 | 1..30 | 1..32 | 1..34 | 1..36 | 1..44 |
| 500 | 1..13 | 1..15 | 1..17 | 1..19 | 1..22 |
| 400 | 0..58 | 0..58 ½ | 0..59 | 1.. 0 ¼ | 1.. 3 |
| 300 | 0..43 | 0..43 | 0..43 + | 0..44 | 0..43+ |
| 200 | 0.27 ¾ | 0..28 ¼ | 0..28 ½ | 0..28 ¾ | 0..29 ¼ |
| 100 | 0..14− | 0..14+ | 0..14 ¼+ | 0..14 ½ | 0..15 |

Si on connoît la diſtance de l'objet contre lequel la piece eſt pointée, on pourra facilement, par le moyen de cette Table, déterminer quel angle la piece doit former avec le rayon viſuel, ou la ligne tirée de la piece à l'objet ; que cet objet ſoit plus haut ou plus bas que la piece, c'eſt à quoi il ne faut pas s'arrêter, l'amplitude ne dépendant que de l'angle dont l'axe de la piece ſera élevé au-deſſus du rayon viſuel : à moins que l'inclinaiſon de ce rayon par rapport à l'horizon ne ſoit beaucoup plus conſidérable qu'il n'arrive ordinairement dans la pratique ; mais revenons : l'inclinaiſon étant comme l'angle que doit former l'axe avec la ligne viſuelle, on pourra pointer la piece de cette maniere.

Meſurez la longueur de l'axe de la piece, & cherchez la tangente de l'angle donné en faiſant le rayon égal à cet axe. Ce qui pourra ſe faire ou par la Table des tangentes, ou en ſuppoſant, (& cette hypotheſe eſt ſuffiſamment exacte), que ſi le rayon eſt d'un pied, la tangente d'un angle de 1° ſera $\frac{21}{100}$ de pouces ; cela poſé, ſoit CHBD cette piece (*Fig. 7. planche 2.*) que AB

ſoit ſon axe, DE la différence du cercle de la culaſſe avec celui de la bouche du canon appliquée au diametre de ce dernier de la maniere ci-deſſus décrite, de façon que CE puiſſe être la ligne de diviſion. Si l'on applique de même ſur le cercle de la baſe une ligne CG égale à la tangente trouvée par les méthodes précédentes, la ligne GE ſera celle ſuivant laquelle la piece doit être pointée, & ce ſera la vraie poſition qu'on doit lui donner ſi on veut atteindre l'objet propoſé.

Si l'on vouloit exactement ſe conformer aux regles que nous venons de preſcrire, il faudroit, comme on voit, élever deux perpendiculaires, l'une ſur le cercle de la bouche, l'autre ſur le cercle de la culaſſe ; néanmoins dans la pratique une ſeule ſuffit. Car ſi CG eſt plus grande que DE, cette différence élevée perpendiculairement ſur le cercle de la culaſſe donnera avec le point D du cercle de la bouche une ligne ſuivant laquelle la piece doit être dirigée, & ſi DE excede CG, cette différence élevée perpendiculairement ſur le cercle de la culaſſe donnera pareillement avec le point C

du cercle de la culaſſe, cette même ligne de direction.

La charge qui peut communiquer au boulet une vîteſſe pareille à celle que nous avons ſuppoſée dans nos calculs, doit être égale au $\frac{1}{6}$ ou $\frac{1}{4}$ du poids du boulet, je dis $\frac{1}{6}$ ou $\frac{1}{4}$ à cauſe des différentes qualités de la poudre qu'on emploie, & des différentes longueurs des pieces, & même ſouvent, en augmentant ou diminuant les charges, ce qui fera changer les vîteſſes; lorſque les objets qu'on veut frapper ſont à une certaine diſtance, les irrégularités qui en proviendront ſeront peu conſidérables; au ſurplus, il ſera fort aiſé d'y remédier lorſqu'on les aura reconnues après trois ou quatre coups.

Il faut obſerver que ſi l'objet qu'on veut frapper n'eſt qu'à la diſtance de 500 verges, il ne ſera pas néceſſaire de recourir à la Table ci-deſſus, ni de mettre aucune différence dans la maniere de pointer chaque piece. En effet, ſi on ſuppoſe qu'un quart de degré ſoit une inclinaiſon ſuffiſante pour chaque centaine de verges, la même regle pourra ſans erreur ſenſible être appliquée indiſ-

tinctement à tous les canons, ainſi qu'on peut s'en convaincre en comparant les réſultats que donne cette regle avec les angles inſérés dans la Table.

Ici finit le manuſcrit de Mr. Robins. Je ſais bien qu'il a compoſé ſur l'Artillerie bien d'autres Traités que ceux que je viens de mettre au jour ; entr'autres le 9 Avril 1717, on lut devant la Société une lettre qu'il avoit écrite à l'Amiral Anſon, au ſujet d'un manuſcrit François que cet Amiral lui avoit remis, & qui avoit été pris à bord d'un vaiſſeau François, nommé le Mars. On lut encore le 2 Juillet devant la Société une autre de ſes lettres concernant la nature & l'avantage des canons rayés ; & j'ai entendu faire le plus bel éloge de ſes Mémoires à pluſieurs perſonnes qui avoient aſſiſté à cette lecture.

Je me ſouviens auſſi d'avoir vu dans quelqu'un de ſes ouvrages, qu'il avoit fait ſur cet eſpece de canon grand nombre d'expériences, au mois de Mars 1745. Il avoit de plus raſſemblé tous les matériaux d'un Diſcours ſur l'irrégularité du mouvement des boulets ( dont il a parlé amplement dans le cours de cet

ouvrage ; & il y ajoute ce qui ſuit.

„ Je dois faire obſerver que le ſeul „ avantage des pieces de canon rayés „ c'eſt d'empêcher ces irrégularités par „ les contours des rayes qui forment une „ eſpece de ſpirale : & ſerrant bien le „ boulet elles lui donnent un mouve- „ ment autour d'un axe coincident „ avec la ligne de direction. Enſorte, „ que ſi la réſiſtance devient égale dans „ toutes les parties en avant du boulet, „ & ſi la réſiſtance n'agit pas égale- „ ment ſur chaque partie de cette ſur- „ face, le mouvement de rotation ſuffira „ pour remédier à cet inconvénient ; „ c'eſt ce qui ſe pratique par-tout par „ rapport aux fleches. Les plumes en „ ſont diſpoſées en forme de ſpirale, afin „ que, dans ſon mouvement, elle tourne „ toujours autour de ſon axe, ſans quoi „ on lui verroit faire des ondulations „ dans l'air, & elle ne ſuivroit point „ exactement la direction qu'on lui „ donne. C'eſt encore pour la même „ raiſon qu'on voit les enfants arranger „ les plumes de leurs volants, de ma- „ niere qu'ils faſſent la roſe.

„ J'ai tâché par des expériences de

„ trouver un moyen plus ſimple pour „ communiquer aux boulets de fer un „ pareil mouvement ; & dans cette re- „ cherche je n'ai pas auſſi-bien réuſſi „ que je l'euſſe deſiré ; néanmoins ce „ que j'ai découvert doit ſervir à m'en- „ courager, quoique j'ignore encore où „ cela me conduira.

Dans les autres lettres qu'écrivoit Mr. Robins à Mr. Alexandre Humes Ecuyer, & qui étoient datées du fort St. David, le 18 Octobre 1750, ſe trouve le paſſage ſuivant qui m'a été communiqué par Mr. Charles Frédéric, Ecuyer, Inſpecteur général de l'Artillerie de Sa Majeſté.

» Si vous vous rappellez ce qui fut „ dit dans notre converſation avec Mr. „ Frédéric au ſujet des pieces légeres, „ vous ne ſerez pas fâché d'apprendre „ le réſultat de quelques expériences que „ j'ai faites là-deſſus depuis mon arrivée. „ Je me ſervis pour cet effet de deux ca- „ nons de 6℔ de balles que j'élevai à un „ angle de 11°. L'un avoit environ 8 „ pieds de long, & peſoit 2100℔ ; l'autre „ n'avoit que 4 pieds 3 pouces de lon- „ gueur, & peſoit 500℔ ; je chargeai

*De la nature & des avantages des pieces de canon rayé.*

APRÈS avoir fait connoître dans nos Mémoires précédents les grandes irrégularités que cauſe dans les opérations militaires la déclinaiſon des projectiles, occaſionnées, comme nous l'avons vu, par leur mouvement de rotation, il eſt queſtion maintenant d'examiner quels ſont les moyens les plus convenables d'obvier à cet inconvénient; mais avant de propoſer aucune des méthodes que j'ai trouvées, il eſt à propos de rapporter & expliquer ici un uſage qui ſe pratique depuis long-temps dans toutes les parties de l'Europe, & qui, quoiqu'il ſemble originairement n'avoir point eu cet objet en vue, avoit empêché néanmoins dans bien des cas la déclinaiſon dont nous venons de parler. C'eſt en cela que conſiſte toute l'utilité & l'excellence de cette invention, tous les autres avantages qu'on lui attribue ſont, à les bien examiner, purement imaginaires.

Cet uſage ſi utile dont je viens de parler, eſt celui de faire les canons rayés ; comme ces pieces quoique connues dans tout le continent, ne le ſont guères en Angleterre, je vais en faire la deſcription, & montrer en quoi elles different des pieces ordinaires. Toute cette différence conſiſte en ce qu'une piece ordinaire eſt unie en dedans, au lieu que dans le cylindre de l'autre on a pratiqué & creuſé des rayes en forme de ſpirale, deſorte qu'il approche beaucoup d'une vis femelle, & n'en differe qu'en ce que ſes rayes ſont moins courbées, & approchent plus de la ligne droite, chacune d'elles ne faiſant jamais plus d'un tour au dedans de la piece ; le nombre de ces rayes n'eſt point fixé, & varie ſuivant la fantaiſie de l'ouvrier ou le calibre du canon ; elles ſont pareillement plus ou moins profondes ſelon les pays, la matiere dont on compoſe la piece, où enfin ſelon le caprice du fondeur.

C'eſt-là ce qu'on appelle un canon rayé, & voici la maniere dont on a coutume de les charger. (Il y a pluſieurs autres méthodes outre celle-ci, & nous

les examinerons plus particuliérement dans la ſuite ). Lorſqu'on a mis dans la piece une quantité de poudre ſuffiſante, on prend une balle de plomb d'un diametre un peu plus grand que celui du calibre de la piece avant qu'elle eût été rayée. On la place à la bouche de la piece, & on la fait entrer de force à coups de maillet, & avec un refouloir juſqu'à ce qu'elle touche la charge ; le plomb cédant à la force avec laquelle il eſt pouſſé, la ſurface de la balle perd ſa forme ſphérique, & prend celle de l'intérieur du cylindre, enſorte qu'elle devient une vis mâle qui s'engraine exactement dans celle de la piece. Delà il arrive que ſi on tire le canon, la zône dentelée de la balle ſuit la courbure des rayes, & par conſéquent acquiert outre ſon mouvement progreſſif un mouvement autour de l'axe du cylindre ; & comme il le conſerve encore au ſortir de la piece, & que l'axe de ce mouvement coincede avec ſa ligne de direction, la preſſion de la réſiſtance ſera égale dans toutes les parties de la ſurface qui ſe préſente la premiere, deſorte qu'elle ne pourra cauſer aucune

déclinaiſon ; & ( ce qui eſt encore plus important ) ſi la ſurface du devant de la balle étoit diſpoſée de maniere que la réſiſtance dût être plus forte dans une partie que dans l'autre, ce mouvement de rotation obvieroit encore à cet inconvénient ; car l'endroit où la réſiſtance eſt la plus forte, tournant ſans ceſſe autour de la ligne, ſuivant laquelle s'avance le projectile, la déclinaiſon qu'il occaſionneroit, s'il reſtoit conſtamment du même côté, ne pourra plus avoir lieu, & la balle ſera retenue en ſa place par les efforts oppoſés & égaux que fait à chaque inſtant la réſiſtance dans le cours d'une révolution.

On concevra aiſément comment ce mouvement de rotation peut empêcher toutes les déclinaiſons, que la réſiſtance pourroit occaſionner en exerçant ſur les parties du devant du boulet des preſſions différentes : ſi on fait attention à ce qui arrive à une toupie lorſqu'elle tourne ſur une pointe de fer, on m'accordera que ſans ce mouvement de rotation la toupie ne pourroit reſter droite un ſeul inſtant ; & ſi nous examinons comment cela ſe fait, nous trouverons

que

que quoique ſon centre de gravité ne ſoit point appuyé ſur cette pointe, ſa partie peſante ne peut néanmoins l'entraîner par ſon effort naturel, parce que durant chaque révolution, le centre de gravité peſe également ſur toutes les parties de la ſurface de la toupie, dans des inſtants immédiats & conſécutifs, ce qui par conſéquent doit toujours la retenir dans la même ſituation. Appliquons cet exemple à notre balle: la force qui pouſſe la toupie vers la terre, repréſentera cette preſſion que la réſiſtance exerce ſur une partie de la ſurface de devant avec plus de force que ſur les autres, & on comprendra comment malgré cette inégalité le boulet doit toujours ſuivre la même ligne. Cette vérité eſt encore confirmée par la pratique univerſellement ſuivie dans la conſtruction des fleches. Car il n'eſt aucun Arbalêtier qui ne ſache qu'il faut en diſperſer les plumes en forme de ſpirale pour lui communiquer un mouvement de rotation autour de ſon axe, ſans quoi on la verroit faire des ondulations, & s'écarter de la direction qu'on lui donne. C'eſt encore ſur ce même

principe qu'un enfant fait faire la roſe à ſon volant pour en regarder le vol plus ſûr, & plus uniforme.

Telle eſt la théorie du mouvement des balles tirées avec des canons rayés ; l'expérience ſe trouve d'accord avec nos ſpéculations : car l'exactitude à laquelle parviennent ceux qui ſavent manier ces pieces, eſt quelque choſe d'étonnant, même lorſque les balles ſont portées à de ſi grandes diſtances, que ſi elles étoient tirées avec des pieces ordinaires : on ne pourroit pas en 20 coups frapper le but auquel on viſe.

Mais ce qu'il y a de plus ſurprenant c'eſt que la théorie d'une méthode ſi ſinguliere, & ſi univerſellement ſuivie dans une grande partie de l'Allemagne & de la Suiſſe, ait reſtée ſi imparfaite, qu'il me paroît même qu'on ne l'a point du tout compriſe. Car par tout ce que j'ai pu en apprendre, j'ai reconnu, à n'en pouvoir douter, que ni l'inventeur de cette méthode, ni ceux qui l'ont pratiquée ne s'étoient jamais apperçus du véritable avantage qu'on en pouvoit retirer ; mais ils lui en ſuppoſoient d'autres que j'ai trouvés par mes expériences être purement imaginaires.

Pour prouver la vérité de ce que j'avance, il me ſuffiroit peut-être d'en appeller à ceux qui, pour connoître à quelle intention & pour quel uſage on faiſoit des canons rayés, ſe ſont adreſſés à des Canoniers, ou à ceux qui ont coutume dans leurs opérations de ſe ſervir de ces ſortes de pieces. Je ne doute pas que pour leur en donner la raiſon, on ne leur ait répondu, ou que l'inflammation de la poudre étoit plus vive à cauſe de la plus grande réſiſtance que lui oppoſoit le boulet, & par conſéquent l'impulſion plus forte que ſi la même charge eût été dans une piece ordinaire, ou que le boulet en tournant ainſi autour de ſon axe, perçant l'air en quelque maniere, devoit s'avancer beaucoup plus aiſément, & par conſéquent, être porté beaucoup plus loin qu'il ne le ſeroit par un autre canon.

Ce ſont là les raiſons que j'ai toujours entendu donner lorſqu'il s'agiſſoit d'expliquer l'utilité des pieces rayées; & pour prouver que c'étoit le ſeul objet des auteurs qui en ont traités, je citerai l'un des plus modernes, qui paroiſſant s'adonner lui-même à la pratique, &

rechercher avec ardeur tous les avantages qu'on pouvoit tirer de cette eſpece de canon, doit ſans doute nous avoir rendu le compte le plus exact, & le plus fidele de tout ce qu'on avoit juſqu'à préſent découvert là-deſſus.

Cet auteur dont je parle, c'eſt Jean George Leutman, Membre de l'Académie Impériale des Sciences à Peterſbourg. Il a donné dans les actes de cette Académie deux Mémoires. Le premier ſur la maniere de rayer le canon : *De ſulcis cochleatis ad datam diſtantiam tubis ſclopetarum rectè inducendis* (de la maniere de bien diſpoſer les rayes en vis ſpirales dans le cylindre du canon, étant donnés les intervalles qu'elles doivent avoir entr'elles) ; le ſecond Mémoire contient quelques remarques, & expériences ſur l'utilité du canon rayé. *Annotationes & experientia quædam rariora curioſa & ad rem ſclopetariam pertinentia* (*): (obſervations curieuſes & ſingulieres ſur le canon rayé). Dans le premier Traité il explique en

(*) Tom. 4 de l'année 1729, p. 265 & de l'année 1728, p. 156.

cette maniere quelle peut être l'utilité de ces ſortes de canons : *Primus qui hanc finxit in tubis formam, procul dubio eum habuit finem, ut globus per gyrum, ope cochlearum, indactum aërem terebrando faciliùs penetret ; ac ſecet prohibeatque ne linea directionis globum impellens, à rectâ nimiùm deflectat viâ, & tandem corpus reſiſtens, ad quod tendit globus vehementiùs feriatur & trajectetur, quando globus illud penetrando perterebat* (*). ( L'objet de celui qui inventa le premier ces ſortes de canons fut ſans doute, que le boulet en tournant ainſi autour de ſon axe, pût en quelque maniere percer l'air & le pénétrer avec plus de facilité, afin qu'il s'écartât moins de ſa direction, qu'il frappât l'objet contre lequel il étoit tiré avec plus de force, & y pénétrât plus avant au moyen de ſon mouvement circulaire ). Il ſemble bien que dans ce paſſage l'auteur ait voulu parler de la déclinaiſon du boulet que ſon mouvement de rotation peut empêcher, ( ce qui eſt le ſeul avantage qu'on puiſſe tirer de ces

(*) Tom. III.

canons). Cependant ſi on examine bien les termes dont il ſe ſert, & ſi on les compare à ce qu'il dit en d'autres endroits, on verra clairement qu'il entendoit que l'impulſion de la poudre étoit augmentée, (ce qui eſt très-faux) & non que le boulet fût par-là obligé de ſe mouvoir toujours dans un plan vertical.

Je me ſuis convaincu par nombre d'expériences que j'ai faites avec ces canons, qu'ils n'ont réellement aucun des avantages qu'on leur attribuoit. J'ai trouvé, par exemple, que la vîteſſe d'un boulet tiré avec une piece rayée, étoit plus petite que celle de ce même boulet tiré avec une piece ordinaire & une même charge; & l'on doit s'y attendre. En effet, ſi les rayes ſont profondes, & que le boulet ſoit aſſez gros pour les remplir, le frottement qu'il éprouve doit diminuer ſa vîteſſe, puiſque ce frottement eſt ſi conſidérable que ſi le métal dont eſt compoſé la piece ſe trouve tendre, & qu'il s'uſe facilement, au bout de 6 mois le calibre ſe trouve ſenſiblement élargi, & les rayes ſont beaucoup moins profondes.

J'ai trouvé qu'alors la même piece chargée avec la même quantité de poudre communiquoit au boulet une vîteſſe de $\frac{1}{10}$ plus grande qu'elle ne faiſoit auparavant. Ainſi le canon rayé ne pouvant augmenter la vîteſſe du boulet, ce boulet ne ſera point porté plus loin qu'il ne le ſeroit par une autre piece, & ne pénétrera point plus avant qu'il n'auroit fait dans un ſolide qui lui ſeroit oppoſé. On peut dire même que la fauſſeté de ces deux ſuppoſitions eſt ſi évidente, qu'il ne ſeroit pas néceſſaire d'en donner une réfutation en forme ; mais on doit obſerver que ceux qui les ont faites étoient en quelque maniere excuſables. Car ils ont toujours trouvé qu'on pouvoit avec de pareilles pieces frapper un but à une diſtance trois ou quatre fois auſſi grande que celle où l'on ſuppoſe qu'on pourroit l'atteindre avec une piece ordinaire ; & comme ils ignoroient la vraie cauſe de cette différence, & qu'ils ne ſavoient point que le mouvement de rotation communiqué au boulet l'empêchoit de s'écarter de ſa ligne de direction, il étoit aſſez naturel d'en conclure ou que le

canon rayé communiquoit au boulet une plus grande vîteſſe, ou que ce boulet traverſoit l'air avec plus de facilité, & éprouvoit moins de réſiſtance.

Mais, c'eſt aſſez parler en général de la forme & des avantages du canon rayé. Cependant avant d'entrer encore dans un détail des différentes fabriques de ce canon, & de m'engager dans une diſcuſſion particuliere à ce ſujet, il ſera à propos de rapporter quelques expériences qui prouvent de quelle utilité ſont ces pieces pour empêcher le boulet de s'écarter de la ligne de direction, comme il arrive lorſqu'on emploie des pieces ordinaires.

Il s'enſuivroit en premier lieu de nos raiſonnements, & de la maniere dont cette piece produit ſon effet, que la demi-ſphere qui ſe préſente la premiere à la bouche du canon doit auſſi conſerver cette même ſituation dans tout le mouvement du boulet.

Pour vérifier ſi cela étoit réellement ainſi, je pris un canon rayé de 6lb de balles ; mais au lieu d'employer une balle de plomb, j'en fis entrer dans le cylindre une d'un bois tendre, mais

élaſtique, & qui ſe mouloit aiſément ſur les rayes ſans ſe rompre.

Tirant enſuite contre un mur aſſez éloigné pour que la boule en le frappant ne ſe briſât pas, j'ai toujours trouvé en effet que la partie de la balle qui ſe préſentoit la premiere à la bouche du canon, continuoit à ſe mouvoir dans la même ſituation, & ſans aucune déclinaiſon ſenſible ; comme il étoit facile de le connoître en obſervant ſur la balle les empreintes des rayes du canon, & celle du coup qu'elle avoit donné contre le mur.

Cependant, s'il avoit été poſſible que l'axe de rotation changeât, ſi la réſiſtance avoit été plus forte d'un côté que de l'autre, cette déclinaiſon auroit été ſûrement plus ſenſible ſur un corps auſſi léger qu'elle ne le ſeroit ſur le plomb qui eſt 16 fois auſſi peſant, & la ſurface de la balle qui ſe préſentoit la premiere en ſortant de la piece auroit dû ſe trouver enſuite dans une poſition différente.

Je rechargeai enſuite la même piece ; mais cette fois j'y mis une balle de plomb, & je la pointai preſqu'à l'angle

droit, l'inclinant ſeulement de trois ou 4 degrés par rapport à la ligne perpendiculaire ; la piece ayant été tirée pluſieurs fois dans cette poſition, la balle s'élevoit en l'air, environ pendant une demi-minute à la hauteur perpendiculaire, ſuivant qu'on pouvoit l'eſtimer, de près de trois quarts d'un mille ; & je trouvai que la balle retomboit toujours à une diſtance correſpondante à l'angle d'inclinaiſon, & à l'effort de l'athmoſphère ; elle ne tomba jamais ni à plus de 150, ni à moins de 100 verges de diſtance. Ce qui prouve que, dans l'eſpace de près d'un mille & demi, cette balle s'eſt toujours mue ſuivant ſa premiere direction ; car ſi on faiſoit la même expérience avec un canon ordinaire, la différence entre les amplitudes eût été d'un demi-mille, & même de plus ; il auroit été cependant bien difficile de faire une pareille expérience, parce qu'il n'eſt pas certain qu'on pût toujours découvrir où tomberoit la balle.

Mais venons aux différentes conſtructions de ces pieces, & aux différentes méthodes qu'on emploie pour les charger.

La méthode la plus ordinaire, c'eſt celle dont nous avons déja parlé, qui conſiſte à faire entrer le boulet dans le canon avec un refouloir, ſur lequel on frappe à coups de maillet. On l'a encore perfectionnée dans quelques Cantons de la Suiſſe & de l'Allemagne, ſur-tout à l'égard des groſſes pieces dont on ſe ſert pour tirer à de grandes diſtances.

Pour cet effet, on coupe en forme de cercle un morceau de cuir ou de futaine très-mince, dont on enduit l'un des côtés avec de la graiſſe, on applique le côté graiſſé contre la bouche du canon & plaçant le boulet deſſus on l'enfonce dans le canon. Par ce moyen le cuir ou la futaine couvrant une partie du boulet, empêche le plomb de prendre l'empreinte des rayes; mais il faut obſerver que pour cela faire, il ne faut pas que les rayes ſoient trop profondes, ni le boulet trop gros par rapport au calibre: comme ces deux méthodes de charger les pieces par l'embouchure exigent beaucoup de temps, les canons qu'on a refondus en Angleterre, (car je ne me ſouviens pas d'avoir vu de pareilles

pieces chez les étrangers ) ſont faits de maniere qu'on les charge à la culaſſe, qui, pour cette raiſon a plus de capacité que toute autre partie : on fait entrer la poudre & le boulet par une ouverture pratiquée dans le côté de la piece, après quoi on la referme avec une vis ; lorſqu'on y met le feu le boulet, comme dans les autres pieces, doit en ſuivre les rayes, & acquérir pareillement un mouvement de rotation autour de l'axe du cylindre ; & cette derniere méthode, ſi on y changeoit quelque choſe, ſeroit peut-être dans la pratique plus parfaite que toutes les autres.

Nous venons d'examiner les avantages qu'on peut retirer de ces ſortes de pieces. Voyons maintenant quels en ſont les défauts ; en premier lieu il faut obſerver, que quoique pour un temps le boulet conſerve ſa premiere direction, néanmoins lorſqu'il aura parcouru un aſſez long eſpace, & que la ligne qu'il décrit aura une courbure conſidérable, il éprouvera pour lors des déclinaiſons ſenſibles, ce qui provient ſelon mes expériences de l'angle conſidérable que l'axe autour duquel tourne le boulet

ſait enfin avec ſa direction. Lorſque cette direction fait elle-même un angle avec celle ſuivant laquelle il avoit commencé à ſe mouvoir ; lorſque cet axe de rotation ne coincide plus avec la ligne de direction, la réſiſtance pour lors exercera ſur le devant du boulet différentes preſſions, comme nous l'avons expliqué dans les Mémoires précédents, & la force de déclinaiſon deviendra toujours plus conſidérable à meſure que la courbure de la ligne que décrit le boulet augmentera.

J'en ai fait l'expérience avec un petit canon portant une balle du poids d'une demi-once, que je chargeai avec un gros de poudre; ſous un angle de 12° elle donna une amplitude de 550 verges ſur des irrégularités ſenſibles ; mais à 24° il n'en fut pas de même, c'eſt une preuve de ſa bonté ; mais ſi le cylindre rencontre quelqu'obſtacle, & qu'il faille le preſſer avec effort pour le faire entrer : on en conclut au contraire qu'elle a quelque défaut.

Il eſt évident par la nature de ces canons qu'on ne peut s'en ſervir qu'avec des balles de plomb ; & que par conſé-

quent on ne peut les employer à lancer des bombes & des boulets ; néanmoins en partant du principe qui leur donne tant d'avantages ſur les autres, on pourroit trouver quelque méthode appliquable à des projectiles plus peſants. J'ai même déja fait diverſes expériences & tentatives à ce ſujet, & j'ai fait l'eſſai de pluſieurs inventions qui s'étoient préſentées à mon eſprit ; j'en ai encore derniérement imaginé une nouvelle, dont je crois le ſuccès immanquable ; mais pour le préſent je n'entrerai là-deſſus dans aucune diſcuſſion. J'ajouterai ſeulement, que la nation chez qui l'on parviendra à bien comprendre la nature & l'avantage des canons rayés, où l'on aura la facilité de les conſtruire, où les Armées en feront uſage, & ſauront les manier avec habileté; que cette nation, dis-je, acquerra ſur les autres uneſupériorité,quant à l'Artillerie,égale à celle que pourroient lui donner toutes les inventions qu'on a faites juſqu'à préſent pour perfectionner les armes quelconques : j'oſe même dire que ſes Troupes auront par-là autant d'avantages ſur les autres, qu'en avoient de

leur temps les premiers inventeurs des armes à feu, ſuivant ce que nous rapporte l'hiſtoire.

*FIN.*

608048

Plan. I

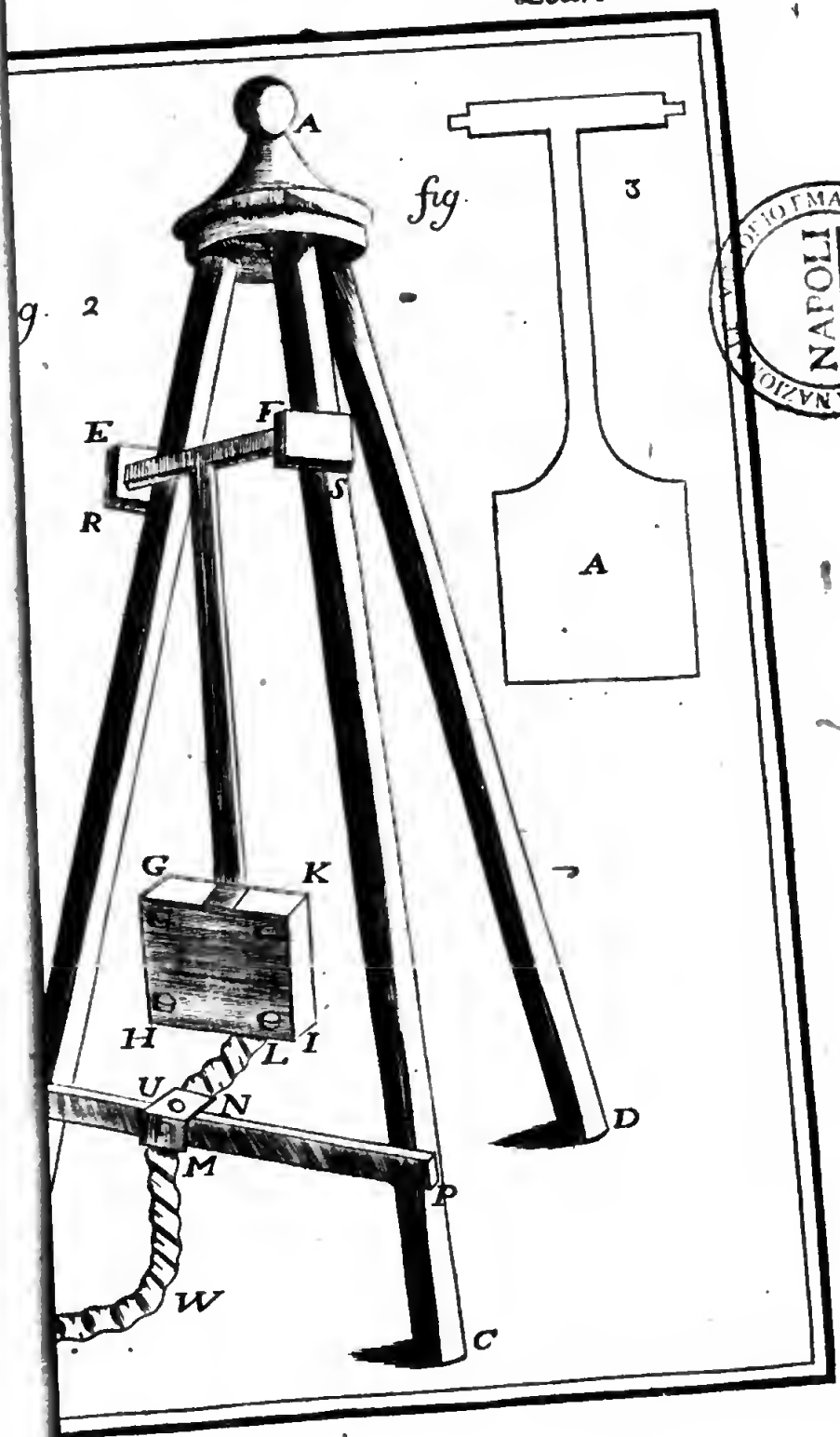



fig. 3

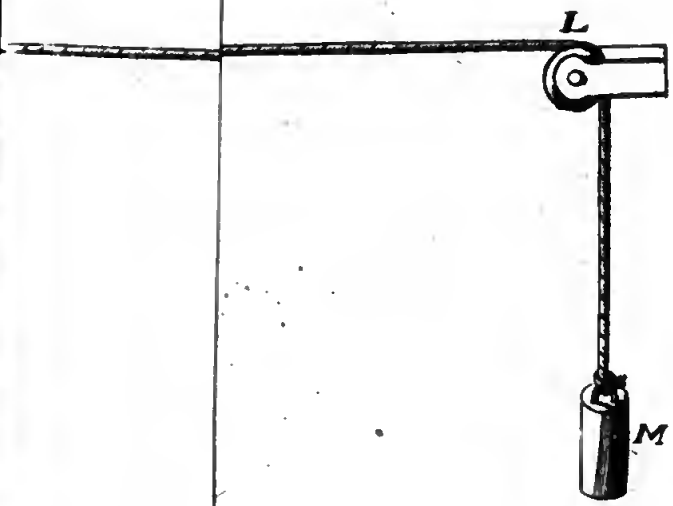


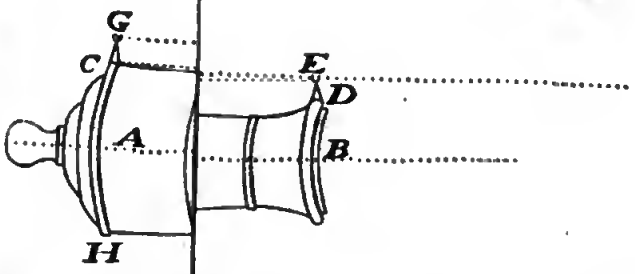

fig. 2

REGIO MANDATO NAPOLI BIBLIOTECA NAZIONALE

BIBLIOTECA NAZIONALE VITTORIO EMANUELE III NAPOLI

fig. 6



Digitized by Google